

Sónia Maria Duarte Melo Silva Victória

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA DAS
UNIDADES LITOLÓGICAS DA CIDADE DA PRAIA
(SANTIAGO, CABO VERDE)**

Dissertação de Doutoramento na área científica de Engenharia Geológica, especialidade Geologia do Ambiente e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Catedrático Doutor Luís Figueiredo Neves e pelo Professor Auxiliar Doutor Alexandre Oliveira Tavares e apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho 2012



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Apoio financeiro da Fundação Calouste Gulbenkian (P-88443 -CV).

Tese escrita de acordo com antiga ortografia.

In memoriam de Maria do
Céu, minha mãe.

Ao meu pai, meu marido,
e filhas.

Agradecimentos

Gostaria de expressar o sentimento de profundo agradecimento às instituições e pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, com apoio bibliográfico, logístico e financeiro.

Começo por agradecer à Universidade de Coimbra pela possibilidade da realização do Doutoramento, e ao Departamento de Ciências da Terra na pessoa do Professor Doutor Alcides Pereira pela disponibilidade e pelas facilidades concebidas.

À Fundação Calouste Gulbenkian, pela concessão da bolsa de Doutoramento, que sem este apoio seria difícil a concretização deste trabalho.

Aos orientadores, Professor Doutor Luís Figueiredo Neves e Professor Doutor Alexandre Oliveira Tavares, pelos ensinamentos, sugestões e críticas, que permitiram aprofundar o tema desta tese. Aproveito também para agradecer a sugestão da realização da cartografia litológica e as discussões no campo.

Agradeço ao Professor Doutor José Manuel Azevedo pelos esclarecimentos e revisão de temáticas. Ao Professor Doutor Pedro Proença Cunha pelas informações e críticas científicas, e ao Professor Doutor Luís Gama Pereira, pelas sugestões. Aos técnicos e colaboradores do DCT pelo apoio e amabilidade; não esqueço de agradecer a Sr^a D^a Manuela Blanco, Dr^a Cristina Brojo, Sr^a D^a Conceição Cruz, Sr. Carlos Maia e Dr. António Santos.

Ao ex. Instituto Superior de Educação e Universidade de Cabo Verde, nas pessoas dos seus Presidentes do Departamento de Ciência e Tecnologia, pelas dispensas de serviço docente concedidas.

Ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC-CV), seu Presidente Sr. Eng.^o António Gonçalves, pela amabilidade no apoio logístico. Aos seus directores, técnicos e colaboradores, por todo o apoio no campo e nos ensaios, pela simpatia que me fizeram sentir em casa. Um agradecimento especial ao Sr. Eng^o Inocêncio Barros e pela ajuda preciosa dos técnicos Sr^a D^a Conceição Fortes, Sr. Diamantino Lopes e Sr. António Gomes.

Ao Serviço Nacional de Protecção Civil (SNPC-CV), ex. Presidente na pessoa do Tenente-Coronel Alberto Fernandes, pelo interesse demonstrado e apoio logístico.

Agradeço ao INGRH e seus colaboradores, pelas informações facultadas; um especial agradecimento ao Sr. Ricardo Lopes, pela transmissão da sua experiência e por me acompanhar durante a realização da cartografia litológica.

Agradeço ao DGOTDU, INIDA e IICT (Portugal), e seus colaboradores pelas informações facultadas.

Aos colegas da Uni-CV e em especial, ao Professor Doutor António Lobo de Pina, pelo acompanhamento em trabalhos de campo e críticas ao trabalho. Aos colegas Doutor José Pereira, Dr^a Vera Alfama, Dr^a Irene Cruz pelo encorajamento, e à Dr^a Nadir Cardoso pela realização de alguns ensaios químicos. Aos técnicos da UTIC no apoio informático.

Ao professor Doutor Alberto da Mota Gomes, pela partilha da sua experiência. À Doutora Mercedes Ferrer, e ao IGME pela realização de análises, e cedência de informações e esclarecimentos.

Ao Doutor Filipe Telmo (LNEC), Professor Doutor João Mata (Univ. de Lisboa), Doutora Teresa Melo (IST-UL), Doutor Ricardo Ramalho (Univ. Muenster), Dr^o João Fontiela e Dr^a Eva Lima (Univ. dos Açores), pelos documentos facultados.

À Eng^a Maria da Luz Modesto, Dr^o Jair Rodrigues (SNPC-CV) pela disponibilidade de informações e sugestões. Dos colegas, Ana Isabel, Ana, Marina, Paulo e Vasco (LRN), das Universidades de Coimbra e de Aveiro, não esqueço a ajuda e troca de ideias.

A todas as instituições e pessoas que permitiram que colocasse os detectores de radão em suas casas. Agradeço a minha família e amigos que me apoiaram com palavras de incentivo e acções.

A todos o meu bem-haja.

Resumo

Este trabalho produz uma avaliação das características geológicas e geotécnicas de um território da ilha de Santiago, Cabo Verde, incidindo sobre a cidade da Praia e a área envolvente. Os objectivos principais do trabalho são a representação cartográfica das unidades litológicas, com uma proposta de coluna litológica sintética, a correlação com as unidades geológicas definidas por outros autores, bem como a realização de um conjunto de ensaios *in situ* e análises laboratoriais visando a caracterização dos parâmetros físicos e mecânicos das diferentes unidades litológicas definidas para a área em estudo. É efectuada uma compilação sobre as principais investigações geológicas realizadas em Cabo Verde, desde o séc. XIX até a actualidade, assim como a descrição das características geológicas da ilha de Santiago e dos principais processos de formação e evolução das formas de relevo e dos recursos naturais (hídricos e solos). A pesquisa incluiu uma revisão dos conceitos descritivos de caracterização dos vulcanitos e vulcanoclastitos presentes e compreendeu a redefinição das unidades litológicas da região, a respectiva representação cartográfica na escala 1: 10.000 (com maior detalhe do que a informação pré-existente) e o levantamento de campo dos principais alinhamentos estruturais. São igualmente apresentados os resultados do tratamento das bandas espectrais de imagens de satélite que suportam a definição das unidades litológicas, bem como dos principais alinhamentos tectónicos que afectam as unidades da área de estudo. Para a caracterização das diferentes unidades litológicas com base nas propriedades *in situ*, recorreu-se a perfis-tipo, estabelecendo uma descrição das características mineralógicas, petrográficas, texturais e estruturais dos materiais presentes. Os materiais foram igualmente ensaiados *in situ* e amostrados para uma caracterização laboratorial. Os resultados dos ensaios geotécnicos, geomecânicos, mineralógicos e de radioactividade natural permitiram refinar a cartografia proposta e estabelecer parâmetros de comportamento para as 30 unidades litológicas consideradas, a partir de intervalos de valores não homogéneos, contudo representativos da variabilidade observada. Com base nestes resultados são apresentados valores indicativos de aptidão dos materiais, nomeadamente para fundações de edifícios, aterros, construção e potencial hidrogeológico.

Palavras-chave: vulcanitos e vulcanoclastitos, unidades litológicas, características geológicas e geotécnicas, valores indicativos de aptidão dos materiais, cidade da Praia, Cabo Verde.

Abstract

This work evaluates the geological and geotechnical characteristics of a section of the island of Santiago, Cape Verde, corresponding to the town of Praia and its surroundings. The main purpose was to carry out geological mapping at a detailed scale, defining lithological units and their spatial relations (through the proposal of a stratigraphic column), to correlate this information with other previous studies, as well as to obtain results for a large set of *in situ* and laboratorial tests to characterize the physical and mechanical properties of the rocks and soils. An extensive summary of previous research since the XIX century up to now is provided, as well as a geological and geomorphological description of the island of Santiago and its natural resources (namely hydrogeological and soils). The research included a review of the concepts developed for the description and characterization of volcanic and volcanoclastic rocks, geological mapping of the region on the scale 1: 10.000 (with better resolution than previous works) and the field recognition of some of the major fault systems. Results of satellite image analysis are also presented, and discussed in the light of defining the cartography of the lithological units and the major fault systems that cross the area. The characterization of the lithological units in the field was based in representative profiles, where mineralogical, petrographic, textural and structural properties of the materials are described in detail. Moreover, several *in situ* and laboratorial analysis, the later obtained from representative samples, where carried out in order to characterize the mechanical and geochemical properties of each unit. The results allowed to refine the proposed cartography, that enclosed 30 lithological units, and to establish, on the basis on non-homogenous intervals and taking into account the observed variability of data. The materials capability was presented for the purpose of building foundations, landfills, use as building materials and hydrogeological potential.

Keywords: volcanic and volcanoclastic rocks, lithological units, geological and geotechnical characteristics, capability of the materials, town of Praia, Cape Verde.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
Índice de Equações	xxi
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xxii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Estado da arte	6
1.2 Objectivos gerais	13
1.3 Objectivos específicos	14
1.4 Estrutura da tese	14
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2.1 Localização regional, divisão administrativa e população	17
2.2 Clima	19
2.2.1 Considerações gerais.....	19
2.2.2 Temperatura.....	19
2.2.3 Pressão e ventos.....	20
2.2.4 Precipitação.....	21
2.2.5 Humidade relativa.....	22
2.3 Geologia	22
2.3.1 Introdução	22
2.3.2 Magmatismo.....	24
2.3.3 Tectónica.....	25
2.3.4 Vulcano-estratigrafia.....	26
2.3.5 Datação absoluta e indícios de levantamento/subsidência	38
2.4 Geomorfologia	39
2.5 Recursos hídricos.....	47
2.6 Solos	50
3 METODOLOGIA.....	53
3.1 Pesquisa e revisão bibliográfica.....	53
3.2 Critérios descritivos dos materiais vulcânicos	54
3.2.1 Conceitos	54

3.2.2	Descrição de lavas coerentes e intrusões <i>sin-vulcânicas</i>	58
3.2.3	Descrição de depósitos vulcanoclásticos	59
3.3	Trabalhos de campo	60
3.4	Amostragem para ensaios laboratoriais	63
3.5	Trabalhos de gabinete para elaboração da carta litológica	64
3.6	Ensaio <i>in situ</i>	64
3.6.1	Estado de alteração.....	66
3.6.2	Estudo do maciço rochoso e das descontinuidades.....	66
3.6.3	Esclerómetro (martelo de <i>Schmidt</i>).....	67
3.7	Ensaio laboratorial em materiais desagregados	69
3.7.1	Análise granulométrica	69
3.7.2	Limites de consistência ou de Atterberg	70
3.7.3	Expansibilidade	72
3.7.4	Teor de humidade.....	72
3.7.5	Classificações unificada e textural	73
3.7.6	Peso específico	75
3.7.7	Mineralogia argilosa.....	75
3.7.8	Difracção de raios-X	77
3.7.9	Ensaio do pH.....	78
3.8	Trabalhos de laboratório em rocha	79
3.8.1	Ensaio de carga pontual ou Ensaio Franklin	79
3.8.2	Classificação da resistência das rochas	81
3.9	Radioactividade natural	82
3.9.1	Quantificação de urânio, tório e potássio nas rochas.....	82
3.9.2	Quantificação do gás radão em espaços interiores.....	84
3.10	Detecção remota	86
3.11	Análise química e mineralógica	88

4 CARACTERIZAÇÃO E RELAÇÕES GEOMÉTRICAS DAS UNIDADES LITOLÓGICAS 91

4.1	Carta de unidades litológicas	91
4.1.1	Espectros de reflectância das unidades litológicas	96
4.1.2	Alinhamentos estruturais maiores.....	109
4.2	Descrição das unidades litológicas	117
4.2.1	Mantos e filões básicos e ultra-básicos.....	120
4.2.2	Fonólitos e traquitos maciços.....	122
4.2.3	Fonólitos e traquitos brechificados.....	122

4.2.4	Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos	124
4.2.5	Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos	125
4.2.6	Conglomerados inferiores.....	127
4.2.7	Brechas hialoclastíticas	128
4.2.8	Depósitos conglomeráticos estratificados	131
4.2.9	Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular	132
4.2.10	Brechas hialoclastíticas litificadas.....	134
4.2.11	Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos.....	136
4.2.12	Basaltos maciços em rolos	137
4.2.13	Basaltos maciços em rolos com carbonatos	138
4.2.14	Basaltos vesiculares em rolos	139
4.2.15	Basaltos maciços.....	140
4.2.16	Basaltos porfiríticos com bancadas de lapilli.....	141
4.2.17	Basaltos vesiculares inferiores	143
4.2.18	Basaltos com disjunção colunar.....	144
4.2.19	Basaltos com disjunção esferoidal.....	145
4.2.20	Basaltos vesiculares intermédios.....	146
4.2.21	Basaltos olivínicos	148
4.2.22	Basaltos amigdalóides.....	149
4.2.23	Basaltos vesiculares superiores.....	150
4.2.24	Depósitos de lapilli estratificados.....	151
4.2.25	Depósitos de lapilli litificados	152
4.2.26	Depósitos escoriáceos grosseiros	153
4.2.27	Depósitos de cascalheiras	153
4.2.28	Materiais detríticos grosseiros de vertente.....	154
4.2.29	Depósitos aluvionares	155
4.2.30	Depósitos de praia.....	156
4.3	Perfis Tipo das Unidades.....	157

5 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA..... 193

5.1	Resultados dos ensaios geotécnicos das unidades litológicas.....	193
5.1.1	Mantos e filões básicos e ultra-básicos.....	194
5.1.2	Fonólitos e traquitos maciços	204
5.1.3	Fonólitos e traquitos brechificados.....	206
5.1.4	Gabros olivínicos e Sienitos feldspatoídicos.....	209
5.1.5	Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos	209

5.1.6	Conglomerados inferiores.....	210
5.1.7	Brechas hialoclastíticas	212
5.1.8	Depósitos conglomeráticos estratificados	217
5.1.9	Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos.....	219
5.1.10	Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular	220
5.1.11	Brechas hialoclastíticas litificadas.....	221
5.1.12	Basaltos maciços em rolos	224
5.1.13	Basaltos maciços em rolos com carbonatos	224
5.1.14	Basaltos vesiculares em rolos.....	225
5.1.15	Basaltos maciços.....	225
5.1.16	Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli	226
5.1.17	Basaltos vesiculares inferiores.....	226
5.1.18	Basaltos com disjunção colunar.....	228
5.1.19	Basaltos com disjunção esferoidal	230
5.1.20	Basaltos vesiculares intermédios.....	231
5.1.21	Basaltos olivínicos	232
5.1.22	Basaltos amigdalóides.....	233
5.1.23	Basaltos vesiculares superiores.....	234
5.1.24	Depósitos de lapilli estratificados	236
5.1.25	Depósitos de lapilli litificados	239
5.1.26	Depósitos escoriáceos grosseiros	241
5.1.27	Materiais detríticos grosseiros de vertente.....	243
5.1.28	Solos de cobertura.....	243
5.2	Resultados complementares geotécnicos do LEC-CV e INGRH.....	255
5.2.1	Mantos e filões básicos e ultra-básicos.....	255
5.2.2	Brechas hialoclastíticas	256
5.2.3	Basaltos vesiculares em rolos e Basaltos maciços em rolos.....	258
5.2.4	Basaltos com disjunção colunar.....	259
5.2.5	Basaltos com disjunção esferoidal	259
5.2.6	Basaltos olivínicos	262
5.2.7	Depósitos aluvionares e Depósitos de cascalheiras	262
5.3	Informação geoquímica e petrográfica.....	265
5.4	Resultados dos dados da radioactividade natural	271
5.4.1	Introdução	271
5.4.2	Concentração de elementos radiogénicos nas rochas.....	272
5.4.3	Concentração do gás radão em edifícios.....	277

5.4.4 Dose por exposição à radiação ionizante	279
5.5 Síntese dos resultados	285
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	295
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	301

Índice de Figuras

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Esquema conceptual da interrelação entre geosfera e biosfera na perspectiva do espaço em transformação urbana (Tavares & Soares, 2010).	3
Figura 1.2 - Edificação na orla costeira (Cidade da Praia).	5
Figura 1.3 - a) Mapa de anomalias de profundidade em relação ao fundo oceânico não perturbado (em metros), com as estações de fluxo sobrepostas. b) Altura do geóide ao longo de uma linha centrada em 25° W. O triângulo marca o centro da anomalia. Retirado de Courtney & White (1986).	7
Figura 1.4 - a) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em ilhas oceânicas seleccionadas para comparação com a gama de valores observada nas ilhas de Cabo Verde. b) Variação inter-ilhas, e comparação com as amostras MORB da ilha do Maio (estrela de 4 pontas) e Santiago (estrela de 8 pontas). Retirado de Gerlach <i>et al.</i> (1990).	8
Figura 1.5 - Alinhamentos magnéticos (M0-M25) e zonas de fractura que atravessam o <i>swell</i> caboverdiano. Williams <i>et al.</i> (1990).	9
Figura 1.6 - Arriba da Achada Grande, Praia, ilha de Santiago (Pereira, 2005, 2010).	10
Figura 1.7 - Carta de susceptibilidade a movimentos de massa (Victória, 2006).	11
Figura 1.8 - Distribuição das principais fácies hidroquímicas por unidade hidrogeológica (Gomes, 2007).	12
Figura 1.9 - Cronograma das campanhas de amostragem para a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na ilha de Santiago (Pina, 2009).	13
Figura 1.10 - Fluxograma de actividades, métodos e técnicas de análise realizados.	15

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Arquipélago de Cabo Verde, sua localização regional e constituição (Plesner <i>et al.</i> , 2002).	17
Figura 2.2 - Principais lineamentos tectónicos de Santiago (Pereira <i>et al.</i> 2008).	26
Figura 2.3 - Carta Geológica da ilha de Santiago à escala 1:100.000 (Alves <i>et al.</i> 1979, adaptado por Neves <i>et al.</i> 2006), in Victória (2006).	28
Figura 2.4 - A) Modelo digital de terreno da ilha de Santiago B) Carta geológica da Praia implementada no modelo digital de terreno C) Corte geológico XY evidenciando correlação geomorfológica e vulcanostratigráfica das lavas D) Corte detalhado da secção Z (adaptado de Johnson <i>et al.</i> , 2012)	35
Figura 2.5 - Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NW-SE). Retirado de Pina (2009).	37
Figura 2.6 - O relevo da ilha de Santiago (Ferreira, 1987). 1- Maciço montanhoso 2- Planalto pouco dissecado 3- Planalto muito dissecado 4 - Vale encaixado 5- Ponto cotado.	40
Figura 2.7 - Formas de relevo da ilha de Santiago.	42
Figura 2.8 - Grandes Unidades Geomorfológicas da ilha de Santiago (Marques, 1990).	45
Figura 2.9 - Perfil dos Domínios Naturais e Sistemas Ambientes da Ilha de Santiago/Cabo Verde (Sousa, 2009; in Oliveira <i>et al.</i> 2009).	47

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Classificação genética dos depósitos vulcânicos (adaptado de McPhie <i>et al.</i> 1993).	55
Figura 3.2 - Projecção dos locais de amostragem (estações - perfis).	65
Figura 3.3 - Ábacos que correlacionam o valor da dureza de Schmidt (R) com a resistência à compressão e módulo de elasticidade da rocha (módulo de Young).	69
Figura 3.4 - Interpolação do teor em água com o nº de golpes.	71
Figura 3.5 - Carta de plasticidade de Casagrande para a Classificação Unificada.	73

Figura 3.6 - Classificação AASTHO, em função dos limites de liquidez (LL) e do índice de Plasticidade (IP).	74
Figura 3.7 - Classificação de solos para fins rodoviários (textural).	74
Figura 3.8- Difractogramas normais, glicolados e aquecidos.	78
Figura 3.9 - Resistência sob carga pontual – Ensaio Franklin.	80
Figura 3.10 - Ilustração das possíveis formas de aplicar o ensaio de carga pontual (Filho, 2003).	80
Figura 3.11 - Sistema de espectrometria gama Ortec com detector de 3x3” NaI(Tl) e castelo de chumbo para quantificação dos elementos radiogénicos, urânio, tório e potássio.	83
Figura 3.12 - Localização dos locais de instalação dos detectores de radão em habitações.	85
Figura 3.13 - Detector passivo do tipo CR39 em invólucro plástico anti-electrostático e respectiva embalagem de folha de alumínio (à esquerda), e aspecto dos impactos das partículas alfa no detector CR39 em observação ao microscópio após tratamento químico (à direita).	86
Figura 3.14 - Sistema de análise automática Radosys para contagem dos detectores passivos do radão do tipo CR39.	86

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Carta de Unidades Litológicas da Cidade da Praia (Santiago, Cabo Verde) com representação dos alinhamentos tectónicos principais.	93
Figura 4.2 – Espectros de reflectância – Unidades litológicas de base.	99
Figura 4.3 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas submarinas inferiores.	100
Figura 4.4 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas submarinas superiores.	101
Figura 4.5 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas subaéreas.	105
Figura 4.6 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas piroclásticas.	106
Figura 4.7 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas sedimentares.	107
Figura 4.8 – Combinação de bandas espectrais 6,7 e 3.	108
Figura 4.9 - Caixa de falha – São Martinho Pequeno.	110
Figura 4.10 - Fractura – Circular Sul (Praia).	111
Figura 4.11 - Representação de caixas de falhas separadas por filões – Pensamento.	111
Figura 4.12 - Nível metamorfizado a separar Mantos e filões básicos e ultra-básicos dos Basaltos com disjunção esferoidal.	112
Figura 4.13 - Falha com movimentação normal – Monte Pensamento.	112
Figura 4.14 - Contacto por falha – Norte do Monte Gato Valente.	113
Figura 4.15 - Dois sistemas de falha, que originaram um estrutura em <i>horts</i> e <i>graben</i> , Ribeira do Palmarejo Grande.	113
Figura 4.16 - Espelho de falha – Simão Ribeiro/Pensamento.	114
Figura 4.17 - Evidência geomorfológica de plano de falha, Circular Sul/Caiada	114
Figura 4.18 - Plano e rejeito de falha – Achada Grande Frente.	115
Figura 4.19 – Falha inversa com movimento vertical – Santaninha/Terra Branca.	115
Figura 4.20 - Caixa de falha – Achada Grande Frente.	116
Figura 4.21 - Estrias de deformação – Chã de Areia/Prainha.	116
Figura 4.22 - Unidades litológicas segundo a sistemática de McPhie <i>et al.</i> (1993).	119
Figura 4.23 - Aspecto dos Gabros olivínicos e sienitos nefelínicos.	125
Figura 4.24 - a) Aspecto dos Vulcanoclastitos basálticos; b) Carbonatitos ígneos.	127
Figura 4.25 - Conglomerados inferiores (Pensamento).	128
Figura 4.26 - Aspecto arenítico das Brechas hialoclastíticas.	130
Figura 4.27 - Depósitos conglomeráticos estratificados.	132
Figura 4.28 - Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular.	133
Figura 4.29 - Superfície de descontinuidade marcada por uma fácies conglomerática.	135
Figura 4.30 - Basaltos maciços em rolos (<i>pillow-lavas</i>) na Ponta Temerosa (Farol).	138
Figura 4.31 - Estrutura amigdalóide dos Basaltos vesiculares intermédios.	147

Figura 4.32 - Amígdalas preenchidas por carbonatos (Basaltos amigdalóides).	150
Figura 4.33 - Depósitos de cascalheiras (Ribeira de Laranjo).	154
Figura 4.34 - Depósitos de praia (Prainha).	157

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 - Classificação dos tipos de solos – Mantos e filões básicos e ultra-básicos (MFBUB).	194
Figura 5.2 - Curvas granulométricas – Mantos e filões basálticos e ultra-básicos.	196
Figura 5.3 - Carta de Plasticidade de Casagrande – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	197
Figura 5.4 - Classificação de AASTHO – Mantos e filões básicos e ultra-básicos. (retirar)	198
Figura 5.5 - Classificação textural – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	199
Figura 5.6 - % Amostras vs classes de resistência (MPa) – Mantos e filões básicos e ultra-básicos (MFBUB).	203
Figura 5.7 - Curvas granulométricas – Fonólitos e traquitos maciços.	204
Figura 5.8 - Curvas granulométricas – Fonólitos e traquitos brechificados.	207
Figura 5.9 - Classificação Textural – Fonólitos e traquitos brechificados.	208
Figura 5.10 - Curvas granulométricas – Brechas hialoclastíticas.	213
Figura 5.11 - Classificação textural – Brechas hialoclastíticas.	213
Figura 5.12 - % Amostras vs tipos de solos – Brechas hialoclastíticas.	214
Figura 5.13 - % Amostras vs classes de resistência (MPa) – Brechas hialoclastíticas (BH).	216
Figura 5.14 - Curvas granulométricas -Depósitos conglomeráticos estratificados.	218
Figura 5.15 - Curvas granulométricas – Brechas hialoclastíticas litificadas.	221
Figura 5.16 - Curva granulométrica – Basaltos vesiculares superiores.	235
Figura 5.17 - Curvas granulométricas – Depósitos de lapilli estratificados.	237
Figura 5.18 - Curvas granulométricas – Depósitos de lapilli litificados.	240
Figura 5.19 - Curvas granulométricas – Depósitos escoriáceos grosseiros.	242
Figura 5.20 - Curvas granulométricas – Solos de cobertura	247
Figura 5.21 - % Amostras vs Tipos de solos – Solos de cobertura.	247
Figura 5.22 - Carta de Plasticidade de Casagrande – Solos de cobertura.	249
Figura 5.23 - Classificação de AASTHO – Solos de cobertura.	249
Figura 5.24 - Classificação Textural – Solos de cobertura.	252
Figura 5.25 - Diagrama de Le Bas <i>et al.</i> (1986); Le Maitre <i>et al.</i> 2002; as linhas a tracejado separam as rochas alcalinas (campo superior) das sub-alcalinas.	269
Figura 5.26 - Diagrama de classificação da origem das rochas segundo Mullen (1983).	271
Figura 5.27 - Projecção dos elementos radiogénicos das diferentes Unidades litológicas.	275
Figura 5.28 - Projecção dos elementos radiogénicos das diferentes amostras.	276
Figura 5.29 - Projecção dos elementos radiogénicos (valores médios) das diferentes Formações Geológicas.	276
Figura 5.30 - Projecção dos elementos radiogénicos das diferentes Formações Geológicas.	277

Índice de Tabelas

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 - Dados de temperaturas médias mensais para as estações climatológicas de Santiago (INMG, 2010).	20
---	----

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 - Classificação de fragmentos vulcânicos encontrados em depósitos piroclásticos.	56
Tabela 3.2 - Classificação dos fluxos de lavas	57
Tabela 3.3 - Classificação para lavas coerentes e intrusões <i>sin</i> -vulcânicas.	58
Tabela 3.4 - Classificação para diferentes tipos de depósitos vulcanoclásticos, vulcanogénicos sedimentares, autoclásticos e autoclásticos ressedimentados.	59
Tabela 3.5 - Classificação para depósitos piroclásticos e depósitos ricos em piroclastos.	60
Tabela 3.6 - Aspectos descritivos dos afloramentos.	61
Tabela 3.7 - Estações de observação e amostragem de campo.	63
Tabela 3.8 - Grau de alteração das rochas.	66
Tabela 3.9 - Classificação da espessura dos estratos (L).	67
Tabela 3.10 - Classificação do espaçamento entre planos de diaclasamento (E).	67
Tabela 3.11 - Correlação entre o índice de <i>Schmidt</i> , a compressão simples e a análise expedita.	68
Tabela 3.12 - Descrição da plasticidade do solo e descrição do solo.	72
Tabela 3.13 - Classificação de USBR com base no valor percentual de expansibilidade.	72
Tabela 3.14 - Classificação para o material geológico segundo valores de peso específico.	75
Tabela 3.15 - Classificação das argilas em função da superfície específica.	76
Tabela 3.16 - Avaliação da sensibilidade dos solos à água.	76
Tabela 3.17 - Classificação dos minerais de argila quanto à actividade coloidal	77
Tabela 3.18 - Classificação dos três principais minerais de argilas quanto à actividade coloidal.	77
Tabela 3.19 - Classificação do solo quanto à concentração de pH.	78
Tabela 3.20 - Classificação do material rochoso relativamente à compressão uniaxial ou simples ISRM (1981).	81

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 - Equivalência entre a sequência de unidades de Serralheiro (1976) e a proposta por outros autores.	94
Tabela 4.2 - Sequência cronostratigráfica geral de A. Serralheiro e coluna litológica da área de estudo.	95
Tabela 4.3 - Características espectrais, resolução geométrica e aplicações principais das sete bandas a	98
Tabela 4.4 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas de base.	98
Tabela 4.5 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas submarinas inferiores.	100
Tabela 4.6 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas submarinas superiores.	101
Tabela 4.7 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas subaéreas.	103
Tabela 4.8 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades piroclásticas.	105
Tabela 4.9 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas sedimentares.	106
Tabela 4.10 - Amostragem da unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	121
Tabela 4.11 - Amostragem da unidade Fonólitos e traquitos brechificados.	123
Tabela 4.12 - Amostragem da unidade Brechas hialoclastíticas.	130
Tabela 4.13 - Amostragem das Brechas hialoclastíticas litificadas.	135
Tabela 4.14 - Amostragem dos Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli.	142

Tabela 4.15 - Amostragem dos Basaltos vesiculares inferiores.	144
Tabela 4.16 - Amostragem dos Basaltos com disjunção colunar.	145
Tabela 4.17 - Amostragem dos Basaltos vesiculares superiores.	151

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1 - Classificação da Carta de Plasticidade de Casagrande e de AASTHO - Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	196
Tabela 5.2 - Resultados geotécnicos para as amostras de Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	200
Tabela 5.3 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	201
Tabela 5.4 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> para os Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	202
Tabela 5.5 - Resultados geotécnicos para as amostras de Fonólitos e traquitos maciços.	205
Tabela 5.6 - Caracterização mineralógica-geoquímica - Fonólitos e traquitos maciços.	205
Tabela 5.7 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> para os Fonólitos e traquitos maciços.	206
Tabela 5.8 - Resultados geotécnicos para as amostras de Fonólitos e traquitos brechificados.	207
Tabela 5.9 - Caracterização mineralógica-geoquímica - Fonólitos e traquitos brechificados.	208
Tabela 5.10 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Fonólitos e traquitos brechificados.	209
Tabela 5.11 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> para os Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos.	210
Tabela 5.12 - Resultados geotécnicos para as amostras de Conglomerados inferiores.	211
Tabela 5.13 - Caracterização mineralógica-geoquímica - Conglomerados inferiores.	211
Tabela 5.14 - Resultados geotécnicos para as amostras de Brechas hialoclastíticas.	215
Tabela 5.15 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Brechas hialoclastíticas.	215
Tabela 5.16 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> para as Brechas hialoclastíticas.	216
Tabela 5.17 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por <i>Point Load</i> .	217
Tabela 5.18 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (<i>Martelo de Schmidt</i>), carga pontual (PLT) e por UCS – Brechas hialoclastíticas.	217
Tabela 5.19 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos conglomeráticos estratificados.	218
Tabela 5.20 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Depósitos conglomeráticos estratificados.	219
Tabela 5.21 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Depósitos conglomeráticos estratificados.	219
Tabela 5.22 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos.	219
Tabela 5.23 - Resultados dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular.	220
Tabela 5.24 - Resultados geotécnicos para as amostras de Brechas hialoclastíticas litificadas.	222
Tabela 5.25 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Brechas hialoclastíticas litificadas.	222
Tabela 5.26 - Resultados obtidos com o martelo de <i>Schmidt</i> - Brechas hialoclastíticas litificadas.	223
Tabela 5.27 - Resultados de compressão simples obtidos por carga pontual (PLT) para as Brechas hialoclastíticas litificadas.	223
Tabela 5.28 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (<i>Martelo de Schmidt</i>), carga pontual (PLT) e por UCS – Brechas hialoclastíticas.	224
Tabela 5.29 - Resultados obtidos com o martelo de <i>Schmidt</i> para os Basaltos vesiculares em rolos.	225
Tabela 5.30 - Resultados obtidos com o martelo de <i>Schmidt</i> - Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli.	226

Tabela 5.31 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT - Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli.	226
Tabela 5.32 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Basaltos vesiculares inferiores.	227
Tabela 5.33 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT para os Basaltos vesiculares inferiores.	227
Tabela 5.34 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de <i>Schmidt</i>), carga pontual (<i>Point Load</i>) e por UCS. Basaltos vesiculares inferiores.	228
Tabela 5.35 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos com disjunção colunar.	229
Tabela 5.36 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Basaltos com disjunção colunar.	229
Tabela 5.37 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por PLT - Escoadas basálticas com disjunção colunar.	230
Tabela 5.38 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de <i>Schmidt</i>), carga pontual (PLT) e por UCS – Basaltos com disjunção colunar.	230
Tabela 5.39 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos com disjunção esferoidal.	231
Tabela 5.40 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos olivínicos.	232
Tabela 5.41 - Caracterização laboratorial para as amostras dos Basaltos olivínicos.	233
Tabela 5.42 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Basaltos olivínicos.	233
Tabela 5.43 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos vesiculares superiores.	234
Tabela 5.44 - Caracterização geoquímica – Basaltos vesiculares superiores.	235
Tabela 5.45 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Basaltos vesiculares superiores.	236
Tabela 5.46 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos de lapilli estratificados.	237
Tabela 5.47 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Depósitos de lapilli estratificados.	238
Tabela 5.48 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Depósitos de lapilli estratificados.	238
Tabela 5.49 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos de lapilli litificados.	239
Tabela 5.50 - Caracterização geoquímica - Depósitos de lapilli litificados.	240
Tabela 5.51 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Depósitos piroclásticos recentes.	241
Tabela 5.52 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos escoriáceos grosseiros.	241
Tabela 5.53 - Caracterização geoquímica – Depósitos escoriáceos grosseiros.	242
Tabela 5.54 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de <i>Schmidt</i> - Depósitos escoriáceos grosseiros.	243
Tabela 5.55 - Classificação da Carta de Plasticidade de Casagrande e de AASTHO.	248
Tabela 5.56 - Resultados geotécnicos das amostras de solos de cobertura.	250
Tabela 5.57 - Classificação textural – Solos de cobertura.	251
Tabela 5.58 - Caracterização laboratorial – Solos de cobertura.	254
Tabela 5.59 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.	257
Tabela 5.60 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Brechas hialoclastíticas.	258
Tabela 5.61 - Resultados dos ensaios geomecânicos dos Basaltos vesiculares em rolos e Basaltos maciços em rolos.	258
Tabela 5.62 – Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos com disjunção colunar.	260
Tabela 5.63 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos com disjunção esferoidal.	261
Tabela 5.64 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos com disjunção esferoidal.	262
Tabela 5.65 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos olivínicos.	262
Tabela 5.66 - Resultados dos ensaios geomecânicos – Depósitos aluvionares.	263
Tabela 5.67 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Depósitos aluvionares e Depósitos de cascalheiras.	265
Tabela 5.68 - Resultados da análise por difracção de Raios-X da constituição mineralógica das amostras.	267

Tabela 5.69 - Resultados das análises de elementos maiores (%). Ferro total na forma de Fe_2O_3 ; PI corresponde à perda por ignição.	268
Tabela 5.70 - Resultados obtidos para a concentração de um conjunto alargado de 37 elementos traço.	270
Tabela 5.71 - Concentração dos elementos radiogénicos U, Th e K.	273
Tabela 5.72 - Parâmetros estatísticos dos elementos radiogénicos para cada uma das Formações Geológicas.	274
Tabela 5.73 - Parâmetros estatísticos dos elementos radiogénicos nas principais Formações Geológicas estudadas no presente trabalho e por Pinto (2010).	277
Tabela 5.74 - Valores da concentração do gás radão em habitações da Cidade da Praia.	278
Tabela 5.75 - Dose absorvida para as diferentes unidades litológicas (nGyh^{-1}).	281
Tabela 5.76 - Valores estatísticos globais para as Formações geológicas D (nGyh^{-1}).	282
Tabela 5.77 - Dose efectiva média anual por exposição ao radão no ar interior de edifícios na Cidade da Praia.	283
Tabela 5.78 - Valores estatísticos globais da dose efectiva por exposição ao radão por unidade litológica (mSv/a).	284
Tabela 5.79 - Síntese da caracterização das unidades litológicas de base.	287
Tabela 5.80 - Síntese da caracterização das unidades submarinas inferiores.	288
Tabela 5.81 - Síntese da caracterização das unidades submarinas superiores.	289
Tabela 5.82 - Síntese da caracterização das unidades litológicas subaéreas.	291
Tabela 5.83 - Síntese da caracterização das unidades litológicas subaéreas.	292
Tabela 5.84 - Síntese da caracterização das unidades piroclásticas.	293
Tabela 5.85 - Síntese da caracterização das unidades sedimentares recentes.	294

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tabela 6.1 - Valores indicativos de aptidão das unidades litológicas.	298
---	-----

Índice de Equações

CAPÍTULO 3

Equação (3.1)	71
Equação (3.2)	72
Equação (3.3)	73
Equação (3.4)	73
Equação (3.5)	75
Equação (3.6)	76
Equação (3.7)	77
Equação (3.8)	77
Equação (3.9)	79
Equação (3.10)	79
Equação (3.11)	80
Equação (3.12)	80
Equação (3.13)	80
Equação (3.14)	87
Equação (3.15)	88

CAPÍTULO 5

Equação (5.1)	280
Equação (5.2)	282
Equação (5.3)	282

Lista de Abreviaturas e Siglas

AASTHO – American Association of State Highway and Transportation Officials
AFNOR – Association Française de Normalisation
ASTM – American Society for Testing and Materials
DGOTDU – Direcção Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano
GPDRR/UN – Global Platform on Disaster Risk Reduction
IAEA – International Atomic Energy Agency
IAEG – International Association of Engineering Geology
IGME – Instituto Geológico e Mineralógico de Espanha
IICT – Instituto de Investigação Científica Tropical
INE – Instituto Nacional de Estatística
INGRH – Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos
INIDA – Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário
INMG – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
ISRM – International Society of Rock Mechanics
IYPE – International Year of Planet Earth
LEC – Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde
LNEC – Laboratório de Engenharia Civil
LRN – Laboratório de Radioactividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra
MDT – Modelo digital de terreno
MORB – Mid-ocean ridge basalts
NF – Norma Francesa
NP – Norma Portuguesa
PDL – Penetrómetro dinâmico ligeiro
PLT – Point Load Test
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
SPT – Standard Penetration Test
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
Uni-CV – Universidade de Cabo Verde
UNSCEAR – Organização das Nações Unidas – Comité Científico sobre os efeitos de Radiação Atómica
USC – resistência à compressão simples
USGS – United States Geological Survey
UTM – Universal Translator Mercator

σ_c – índice de *Schmidt*

Is_{50} – índice de carga pontual

E – módulo de elasticidade

R – energia de ressalto

et al – et alii (e outros)

e.g – exempli gratia (por exemplo)

in – em

op. Cit. – obra citada

1

INTRODUÇÃO

Cada vez mais existe uma procura de novos espaços para edificação, assim como espaços em que é alterado o uso e ocupação do solo, tendo estes processos especial incidência na expansão, transformação e infra-estruturação das cidades. No entanto, o êxodo rural e a concentração urbana, frequentemente associado à litoralização, com maior incidência no séc. XX, colocam a necessidade de novas formas de gestão territorial, que tem de ser estudada e direccionada de modo a realizar-se a mitigação dos problemas que advêm da ocupação associada a algumas zonas urbanas (Tavares, 1999; Almeida, 2008), com consequente desequilíbrio da distribuição da densidade populacional, condicionada por múltiplos factores, incluindo condicionantes geológicas e geotécnicas.

A obtenção e organização de dados em laboratório e no campo, criando e comunicando informação a outros utilizadores, é um dos objectivos dos geocientistas, e em que a cartografia é muito importante (Culshaw, 2003). Ainda segundo este autor, a sociedade deve assegurar que as águas subterrâneas que bebe são boas, que as fundações dos edifícios e infra-estruturas são seguras, que áreas para a agricultura e de lazer não estão contaminadas, ou que não está exposta a perigos de natureza geológica.

A origem e desenvolvimento das áreas urbanas estão relacionados com condições específicas do ponto de vista geológico e geográfico, sendo que as actividades de caracterização e avaliação do comportamento dos materiais e a sua cartografia apresentam especificidade na obtenção e representação (Mulder, 1992).

O estudo da interacção dos processos naturais e humanos com o ambiente geológico em áreas urbanizadas, os impactos resultantes, assim como a construção da geo-informação, são determinante para acções de regeneração e conservação urbana, assim como para o desenvolvimento sustentado (Culshaw & Price, 2011). De igual forma Elmay *et al.* (2010) referem que a aquisição de dados geológicos e a expressão cartográfica constituem actividades fundamentais da geologia das áreas urbanas, a par da disponibilização desta informação aos responsáveis pelo ordenamento e aos políticos, para que se obtenham um planeamento racional do uso e ocupação do território.

Do ponto de vista geológico e geotécnico o futuro das áreas urbanas, e em particular das cidades, depende da integração de todas as respectivas condicionantes no planeamento (Almeida, 2008). Esta necessidade, sentida desde muito cedo devido às restrições espaciais e à valorização de algumas áreas urbanas, com evolução da ocupação em profundidade e em altura, exige a realização de estudos geotécnicos.

O volume de informação existente na maioria das áreas urbanas, apesar de disperso por numerosas instituições e em diversos formatos, pode, devidamente organizado, constituir um valioso contributo para o planeamento e gestão do espaço urbano.

Com as transformações globais, as dinâmicas populacionais de urbanização e litoralização, e a não reversibilidade de muitos dos processos naturais, têm vindo a adquirir progressiva importância a expressão espacial dos riscos e a qualificação da probabilidade de ocorrência de eventos extraordinários (Tavares, 2008).

Estes focos que enfatizam o uso e transformação do território são igualmente salientados pelas Nações Unidas (GPDRR/UN, 2009) onde se aponta que os padrões de expansão de risco são frequentemente impulsionados pela má gestão e planeamento urbano e pela ocupação antrópica do território, aumentando o número de pessoas e bens expostos, sendo que a maior exposição é agravada pela má gestão ambiental e pela diminuição das funções prestadas pelos ecossistemas.

O processo da concentração urbana acentuou-se no século passado e disparou sobretudo a partir dos anos 70. Em 2007 o número de pessoas a viver em cidades atingiu os 50% da população mundial. Por outro lado, o espaço ocupado pelas cidades não ultrapassa 0,7 % da superfície das terras emersas, o que dá uma ideia da enorme concentração populacional que o fenómeno representa (IYPE, 2005).

A relevância da interacção entre o homem e o sistema geológico inclui não só a análise das componentes físicas em si, como também dos processos internos e externos, nomeadamente quando associados a situações de desequilíbrio, onde ganham dimensão as ciências do risco. Um outro foco de análise corresponde à gestão dos recursos, enquanto suporte fundamental da biocenose, a que se associam as formas de conservação e protecção do meio natural, a gestão de resíduos, ou as formas de uso e ocupação do território, nomeadamente na dimensão urbana (Tavares & Soares, 2010).

As alterações ambientais decorrentes das actividades antrópicas são frequentemente complexas e conflituosas e os impactos reflectem o número de pessoas envolvidas, o consumo *per capita* de recursos e um factor de potencial tecnológico (Goudie, 2000).

Os processos de urbanização e de construção constituem acções antrópicas decisivas na alteração e degradação das componentes físicas do ambiente. Conforme refere Jones (2004), há uma multiplicidade de acções que correspondem a alterações de uso e ocupação do território, bem como modificações nos processos naturais que causam estados de distúrbio significativos (Toy & Hadley, 1987) e determinam a necessidade de acções de mitigação.

A Figura 1.1 ilustra um esquema conceptual da interrelação entre geosfera e a biosfera (Tavares & Soares, 2010).

O seu gigantismo implica a intensificação da construção de acessibilidades e de muitas outras infra-estruturas, com uma crescente ocupação da superfície e cada vez maior utilização dos espaços.

O papel da geologia de engenharia no planeamento urbano passou a ser reconhecido na prática apenas nos últimos dez anos. Porém, mais recentemente, tem existido uma preocupação crescente no que respeita à Geologia de Engenharia que pode contribuir significativamente para a solução de muitos dos problemas urbanos, de que são exemplos: a selecção dos terrenos mais favoráveis ao ambiente urbano; a selecção das

áreas mais adequadas para o desenvolvimento da cidade; o contributo para alcançar um desenvolvimento mais económico e ambiental.

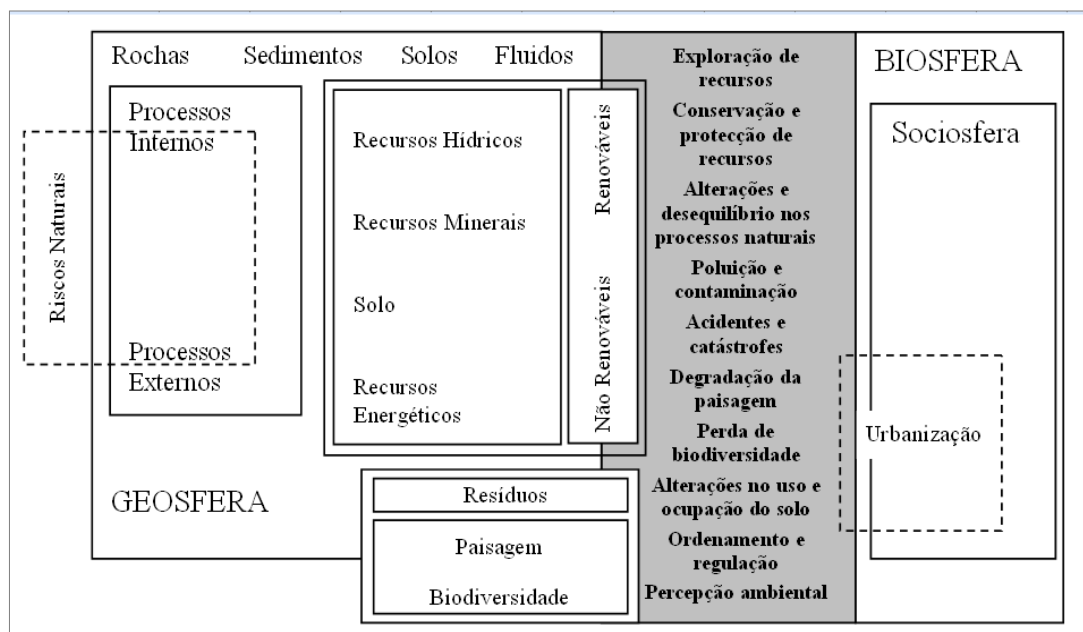


Figura 1.1 - Esquema conceptual da interrelação entre geosfera e biosfera na perspectiva do espaço em transformação urbana (Tavares & Soares, 2010).

A geologia, geomorfologia e hidrogeologia devem ser consideradas e investigadas antes de qualquer estudo de engenharia geológica ser realizado. O tipo de informação que podem fornecer deve ser actualizado, e expresso numa escala adequada. Após as investigações de base, os problemas de engenharia geológica deveriam ser considerados (Vallejo, 1977), garantido assim, a sustentabilidade das obras e infra-estruturas bem como a exploração de recursos.

O objectivo da cartografia geotécnica consiste em fornecer informações sobre as características do território para o seu ordenamento e construção. Nos últimos anos as informações sobre as condições do solo urbano têm assumido uma importância crescente nas questões ambientais, o que é confirmado por problemas resultantes da engenharia (expansibilidade, retracção de solos; Meisina, 2006).

É necessário destacar-se o papel do conhecimento geológico no desenvolvimento sustentável e no urbanismo (Lateef *et al.* 2010). As condições geológicas do terreno e os recursos da Terra são factores fundamentais para a sustentabilidade urbana de todas as grandes cidades. No entanto, a experiência comprovada em muitos países em desenvolvimento mostra que a informação geológica não é devidamente considerada no planeamento urbano.

Esta aceleração do crescimento urbano operou uma mudança de escala no que respeita à sua interferência com o meio geológico. O impacto geológico das megacidades

cruza-se com problemas de estabilidade e de sustentabilidade ambiental, com implicações directas na qualidade de vida das populações. Por outro lado, uma população urbana cada vez mais concentrada é uma população mais vulnerável aos riscos associados a perigos naturais ou induzidos que a ameaçam (Coelho, 2008).

Em Portugal ao longo das últimas décadas foram produzidos vários estudos de caracterização geológica e geotécnica em áreas urbanas ou em forte processo de urbanização, entre os quais Coelho (1980), Gomes (1992), Tavares (1999) e COBA (2003), onde procuram adequar as características geofísicas com os valores indicativos de aptidão à construção e a alterações de uso e ocupação do solo.

A caracterização geológica-geotécnica permite a classificação dos maciços e materiais, a avaliação das condições hídricas, assim como dos processos superficiais e subterrâneos, determinando a maiores ou menores valores indicativos de aptidão para a alteração de uso do solo, a implantação de uma dada obra, bem como a salvaguarda dos recursos minerais e hídricos (Costa e Silva *et al.* 2001; Melo, 2010).

Pela importância prática que rapidamente se reconheceu a estas aplicações, as classificações geotécnicas foram melhoradas passando a incluir para além dos elementos que caracterizam os materiais e fluidos, também os elementos de carácter estrutural imprescindíveis para a determinação da qualidade de um dado maciço (presença ou ausência de descontinuidades, superfícies de estratificação, outras superfícies de descontinuidade e suas atitudes, espaçamentos, aberturas, preenchimentos, etc.).

Algumas propriedades das rochas e solos têm uma importância particular no planeamento, execução e custo dos projectos de engenharia civil nos quais estão envolvidas modificações do estado *in situ* (tensão e deformação) de maciços rochosos. O conhecimento destas propriedades índice, que podem ser avaliadas a partir de testes em laboratório ou no campo, possibilita a classificação dos maciços rochosos e terrosos de acordo com vários critérios técnicos.

A transformação e a construção de obras de grandes dimensões exigem um conhecimento, tão aprofundado quanto possível, sobre as características geológicas e mecânicas dos maciços rochosos e rochas, sobre os teores de humidade e a circulação de fluidos, assim como sobre os processos superficiais de geodinâmica externa. Por sua vez o impacto urbano nas características geológicas-geotécnicas manifesta-se uma vez que existe alteração da geomorfologia, da hidrologia e do acesso a recursos geológicos e hídricos, determinando uma convergência de elementos físicos e humanos susceptíveis de condicionarem formas diferenciadas de desenvolvimento.

Vários autores afirmam que uma adequada caracterização geológica-geotécnica habilita os responsáveis pelo projecto, licenciamento e construção a definir os processos de construção mais económicos e mais seguros, e, também, tipologias de suporte provisório e definitivo, evitando-se, assim, gastos desnecessários, atrasos nas obras e eventuais acidentes (Costa e Silva *et al.* 2001).

É de referir que o tempo gasto numa adequada caracterização dos maciços rochosos, pode ser bastante inferior ao que é gasto em soluções para situações não previstas e que ocorrem, com alguma frequência, no decorrer das escavações; refere-se também, que os encargos financeiros resultantes de uma adequada caracterização do

maciço rochoso para a implantação de uma grande obra são insignificantes, quando comparados com o custo da obra, e que tais encargos serão sempre menores que os prejuízos, quer pessoais quer materiais, causados por eventuais acidentes estruturais (Costa e Silva *et al.* 2001).

A cidade da Praia (Cabo Verde) tem vindo a expandir-se significativamente ao longo dos anos. O crescimento das populações, associado à migração para os grandes centros habitacionais, em busca de novas e melhores oportunidades de trabalho e de vida, tem assim conduzido ao crescimento incessante da cidade, com a alteração e transformação do uso do solo.

Assiste-se, assim, a modificações constantes nesta grande cidade, ao nível da construção de edificações e na infra-estruturação, ocupando: (i) as zonas livres de urbanização e que se situam, geralmente, nos espaços periféricos da cidade; (ii) as zonas cujas características geológicas-geotécnicas conhecidas levam a considerá-las menos aptas para a fundação e escavação; (iii) os espaços corredor ao longo das linhas de água (sazonais/perenes) na linha de costa (figura 1.2).

Surge assim como fundamental numa área com elevada dinâmica de transformação antrópica, com ocupação urbana e infra-estruturação, a caracterização geológica-geotécnica dos materiais e fluidos, visando otimizar as técnicas e recursos de construção e edificação, reduzir os processos de perigosidade, e contribuir para o ordenamento do território e qualificação ambiental.

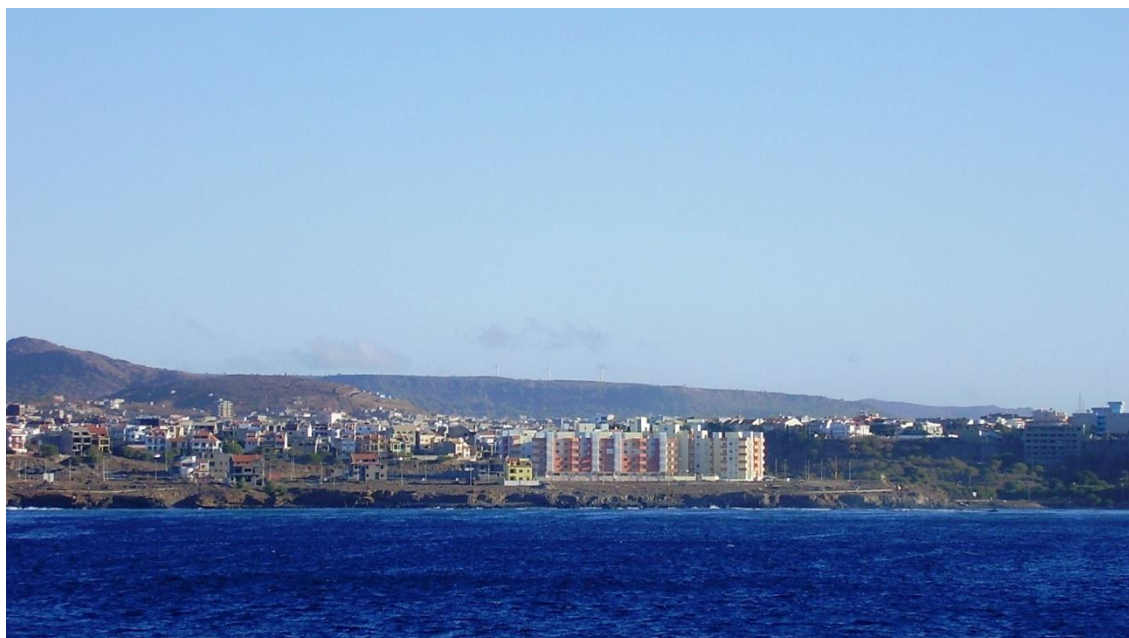


Figura 1.2 - Edificação na orla costeira (Cidade da Praia).

1.1 Estado da arte

Embora a moderna Geologia de Cabo Verde tenha surgido nos anos sessenta do século XX, com a Missão Geológica de Cabo Verde, o esforço da investigação portuguesa no conhecimento geológico do arquipélago iniciou-se no século XVIII com J. Feijó, naturalista, que em 1783 realizou a primeira viagem filosófica ao arquipélago. Em 1842, C. Darwin, durante a viagem do navio Beagle, fez as primeiras observações geológicas no sul da ilha de Santiago. Por sua vez, C. Doelter (1882) publica um trabalho sobre a descrição de quatro das dez ilhas de Cabo Verde; o Vulcanólogo I. Friedlaender (1913) visitou, todo o arquipélago em 1912, tendo descoberto os primeiros fósseis mesozóicos na ilha de Maio.

A primeira expedição geológica moderna deve-se a B. Bebian, na década dos anos trinta do século XX, tendo resultado a obra intitulada “Geologia do arquipélago de Cabo Verde”, em que afirmou ter preenchido uma lacuna deixada pelos seus antecessores, no que diz respeito à falta de relações genéticas entre as várias rochas descritas e os magmas que lhes deram origem. Em 1940, C. Neiva, apresenta um estudo petroquímico das rochas magmáticas de Cabo Verde, com base nas análises químicas disponíveis. O autor J. Soares (1944-1950) para além de observações geológicas realizou vários estudos sobre fósseis das ilhas de Maio, Santiago e São Nicolau, permitindo construir uma bioestratigrafia do arquipélago.

No início dos anos cinquenta do século passado, L. Berthois realça a individualidade litológica do arquipélago de Cabo Verde, tendo C. Teixeira (1950) ao publicar as “Notas sobre a Geologia das ilhas Atlânticas”, sintetizado os conhecimentos da época sobre os arquipélagos da Madeira, Açores e Cabo Verde. Em 1954, O. Ribeiro, com base nas missões geográficas à ilha do Fogo, edita o livro “O Fogo e as suas erupções”, relatando anteriores erupções.

Em 1963, A. Serralheiro inicia os seus trabalhos sobre as ilhas de Cabo Verde sendo o estudo dos fósseis existentes nas antigas praias mio-quadernárias, realizado, nesta data, o primeiro trabalho vulcanológico sobre a ilha de São Vicente, para em 1965, integrar a missão geológica de Cabo Verde, juntamente com J. Macedo, L. Silva e M. Alves, envolvendo posteriormente A. Gomes. Dos trabalhos de Geologia realizados nesta época (e.g 1966, 1971), resultaram várias publicações de obras e cartas geológicas das ilhas, devendo-se também destacar a tese de doutoramento de A. Serralheiro (1976): “A Geologia da ilha de Santiago”, que apresentou as sequências vulcanoestratigráficas das ilhas. Uma síntese sobre a Geologia de Santiago foi apresentada por M. Alves e colaboradores, em 1979.

Na década de 60 do século anterior, F. Machado (1965-67) desenvolveu estudos de geologia e vulcanismo nas ilhas de Cabo Verde; em 1968, F. Assunção apresenta a obra “Geologia da Província de Cabo Verde”, com notas sobre a petrografia comparada das ilhas atlânticas, para no final da década surgirem os primeiros trabalhos sobre paleomagnetismo da região insular Macaronésica, particularmente sobre Cabo Verde, feitos por Watkins *et al.* (1968), sucedido por Rona *et al.* (1970) que apresenta resultados das anomalias magnéticas no NE do Atlântico, entre as ilhas das Canárias e de Cabo Verde.

Mendes-Victor (1970) elabora a tese pioneira sobre a geofísica de Cabo Verde (anomalias magnéticas e gravimétricas), sucedendo-lhe cronologicamente em 1971, o trabalho de M. Alves e colaboradores, que realizaram estudos sobre os carbonatitos da ilha de Santiago. C. Burri (1973) nos seus estudos refere-se à petroquímica e vulcanismo de Cabo Verde, realizando uma comparação com a Renânia (Alemanha).

Bernard-Griffiths *et al.* (1975) realizam estudos geocronológicos e radiométricos de algumas formações magmáticas das ilhas. Em 1976, é publicada por Mitchell-Thomé uma obra sobre a geologia dos arquipélagos da Macaronésia, que inclui Cabo Verde, para no mesmo ano, B. Dash realizar investigações geofísicas no arquipélago.

Nos anos oitenta do século XX, C. Stillman (1982) apresenta uma resenha histórica sobre a geologia da ilha de Maio e Le Bas (1984) publica um novo trabalho sobre os carbonatitos oceânicos.

Por sua vez Courtney & White (1986; figura 1.3) contribuíram com um estudo sobre anomalias do geóide na vizinhança da bacia de Cabo Verde; em 1988, tendo J. Macedo e colaboradores, publicado os trabalhos de cartografia geológica da ilha de São Nicolau.

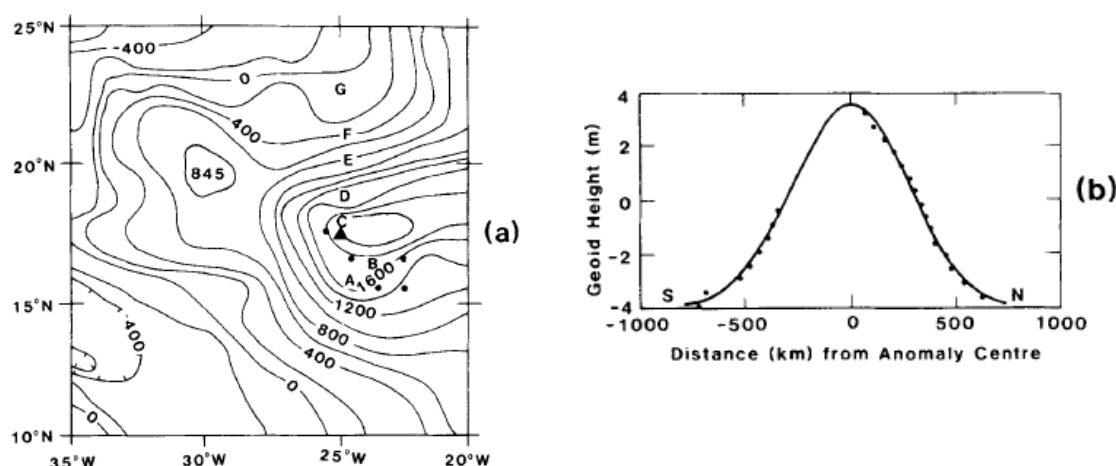


Figura 1.3 - a) Mapa de anomalias de profundidade em relação ao fundo oceânico não perturbado (em metros), com as estações de fluxo sobrepostas. b) Altura do geóide ao longo de uma linha centrada em 25° W. O triângulo marca o centro da anomalia. Retirado de Courtney & White (1986).

Os autores Gerlach *et al.* (1988; figura 1.4) foram os pioneiros na utilização isotópica (Sr-Nd-Pb) para inferir a origem e evolução dos magmas subjacentes ao arquipélago de Cabo Verde. Os primeiros estudos sobre paleomagnetismo da ilha de Santiago são apresentados em 1990, com considerações propostas por Abranches *et al.* (1990), sobre a idade das diferentes formações geológicas; no mesmo ano Williams *et al.* inferem sobre a idade da crosta oceânica, com base na distribuição dos alinhamentos magnéticos (figura 1.5).

Vários estudos sobre a ilha do Fogo no âmbito da geologia, vulcanologia e mecanismos relacionados com o grande deslizamento do flanco leste do vulcão são

apresentados por S. Day (1999), Silveira *et al.* (1997) e Madeira *et al.* (2005) que têm vindo também a desenvolver vários estudos nas ilhas da Brava e de Santo Antão.

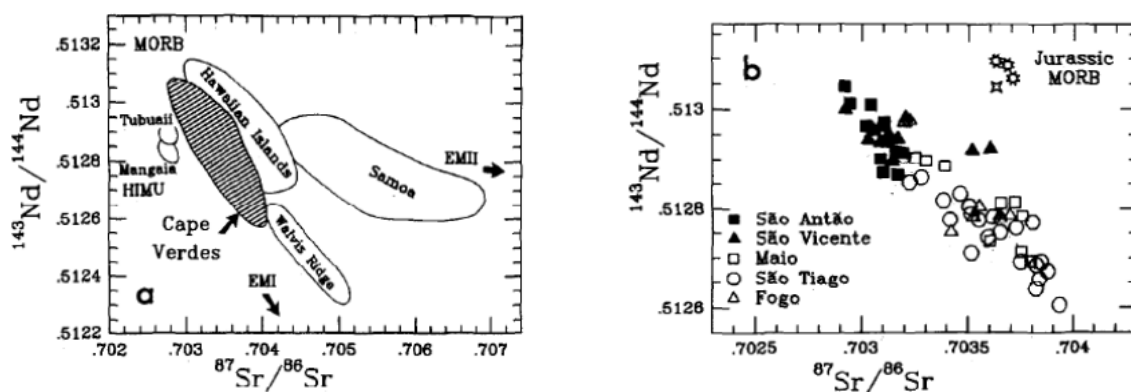


Figura 1.4 - a) $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em ilhas oceânicas seleccionadas para comparação com a gama de valores observada nas ilhas de Cabo Verde. **b)** Variação inter-ilhas, e comparação com as amostras MORB da ilha do Maio (estrela de 4 pontas) e Santiago (estrela de 8 pontas). Retirado de Gerlach *et al.* (1990).

Na última década, autores como Doucelance *et al.* (2003), Escrig *et al.* (2005) têm realizado vários estudos modernos sobre a geoquímica isotópica do arquipélago e Holm *et al.* (2006, 2008), Baker *et al.* (2009a,b), Plesner *et al.* (2002), Knudsen *et al.* (2000, 2009), apresentaram contribuições no que diz respeito ao paleomagnetismo; Helffrich *et al.* (2010) têm-se dedicado ao estudo do *swell* sob as ilhas de Cabo Verde.

Na obra “Building Cape Vert” de R. Ramalho (2009) e em Ramalho *et al.* (2010a,b, 2011), apresentam-se modelos de levantamento e subsidência das ilhas de Cabo Verde, utilizando dados de datações isotópicas.

Diferentes estudos de mineralogia têm sido apresentados pelos investigadores, e.g. L. Silva (1976), M. Mendes (1995), M. Figueiredo (2002), P. Torres *et al.* (2002a,b), R. Caldeira (2008), sendo de referenciar os trabalhos de M. Trindade (2003) e S. Henriques (2004) sobre a petrologia e geoquímica das lavas recentes das ilhas de São Vicente e de Santo Antão, respectivamente; são ainda de salientar os estudos de S. Martins (2003) e Martins *et al.* (2003, 2007, 2010), sobre a petrologia e geoquímica das lavas da ilha de Santiago e os trabalhos de S. Heleno (2003) sobre a geofísica do Vulcão do Fogo, após a erupção de 1995.

Os autores Mourão *et al.* (2010a,b) e Mata *et al.* (2010) apresentam trabalhos sobre carbonatitos oceânicos e tendo Madeira *et al.* (2010), proposto a vulcano-estratigrafia e evolução estrutural da ilha da Brava.

Os trabalhos de R. Hernández (2008) e M. Pinto (2010) apresentam dados geoquímicos relevantes direccionados para o ambiente e cartografia geoquímica de solos da ilha de Santiago, respectivamente.

Na temática do património são de referenciar os trabalhos de J. Pereira (2005, 2010; figura 1.6) sobre o património geológico da ilha de Santiago e sua valorização, assim como os estudos de V. Alfama (2007) sobre o geoturismo na ilha do Fogo e forma de gestão sustentável.

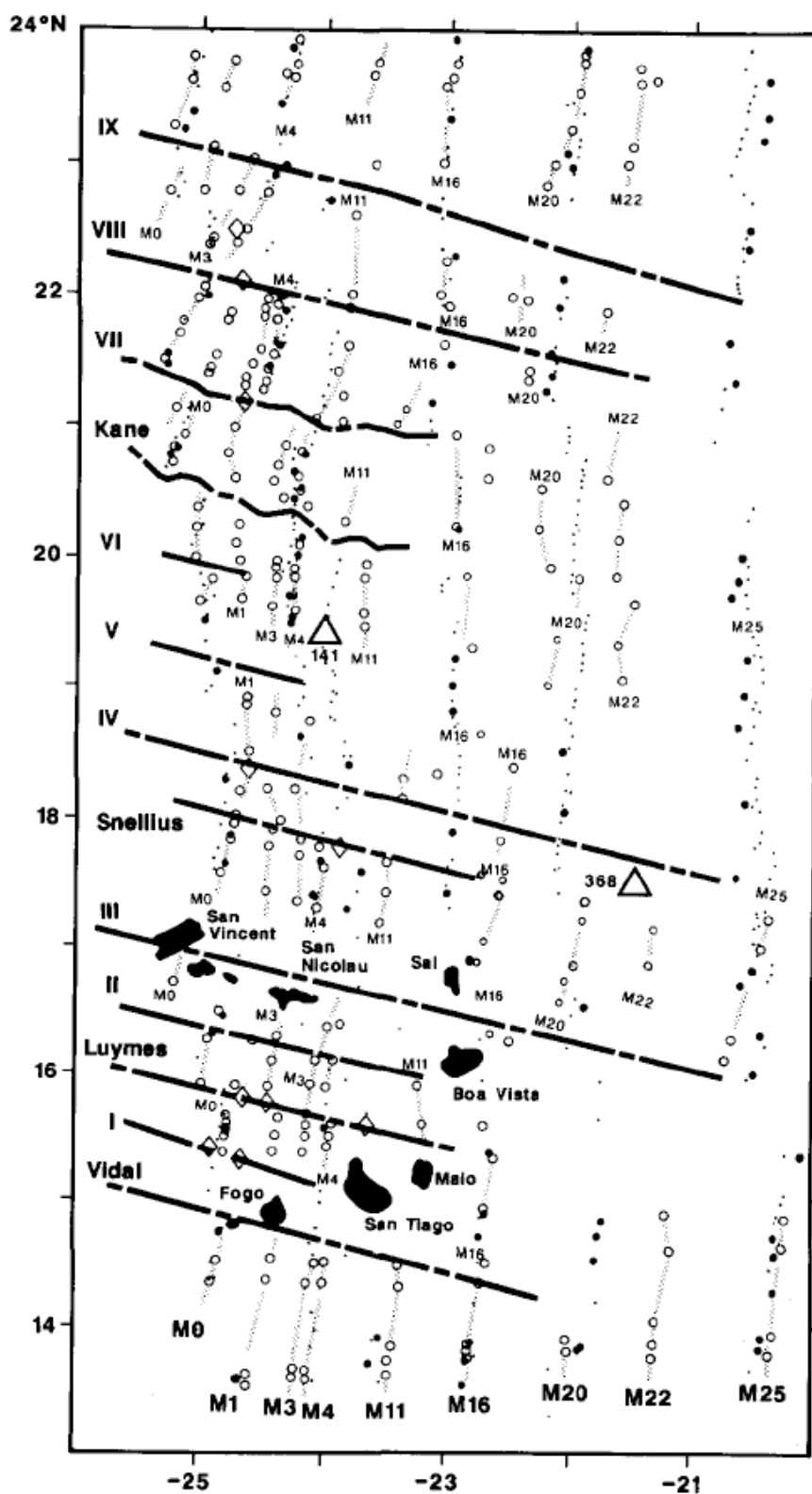


Figura 1.5 - Alinhamentos magnéticos (M0-M25) e zonas de fractura que atravessam o *swell* caboverdiano. Williams *et al.* (1990).



Figura 1.6 - Arriba da Achada Grande, Praia, ilha de Santiago (Pereira, 2005, 2010).

Por sua vez S. Victória (2006) aborda as condicionantes geológicas e suas implicações no ordenamento do território na região da Praia, ilha de Santiago (figura 1.7) e mais recentemente em 2010, B. Faria elaborou um estudo sobre sistema de alerta sísmico-vulcânico para o Vulcão do Fogo. Trabalhos sobre os principais alinhamentos tectónicos de Santiago são apresentados em Vicente *et al.* (2008), Pereira *et al.* (2007, 2008) e Victória *et al.* (2010).

Vários estudos têm vindo a serem realizados por equipas de investigação multidisciplinar sobre a hidrogeologia e hidrogeoquímica da ilha de Santiago, ao longo dos últimos cinquenta anos. São de destacar alguns desses estudos realizados por INGRH & Cooperação Espanhola (1994), Agência Japonesa de Cooperação Internacional & INGRH (1999, 2003), Heitor & Pina (2003) e Santos *et al.* (2006).

Outros estudos recentes sobre a hidrogeologia e hidrogeoquímica da ilha de Santiago também foram apresentados por A. Gomes (1980, 2004, 2007; figura 1.8), A. Pina *et al.* (2004, 2005, 2006, 2009; figura 1.9), e T. Melo *et al.* (2008); tendo todos estes trabalhos contribuindo para uma melhoria do conhecimento hidrogeológico da ilha de Santiago.

Trabalhos relacionados com a geoquímica de gases vulcânicos e a geofísica, visando a redução do risco vulcânico em Cabo Verde, têm vindo a ser realizados no âmbito do Projecto Makavol (e.g Melián *et al.* 2007; Bandomo *et al.* 2009).

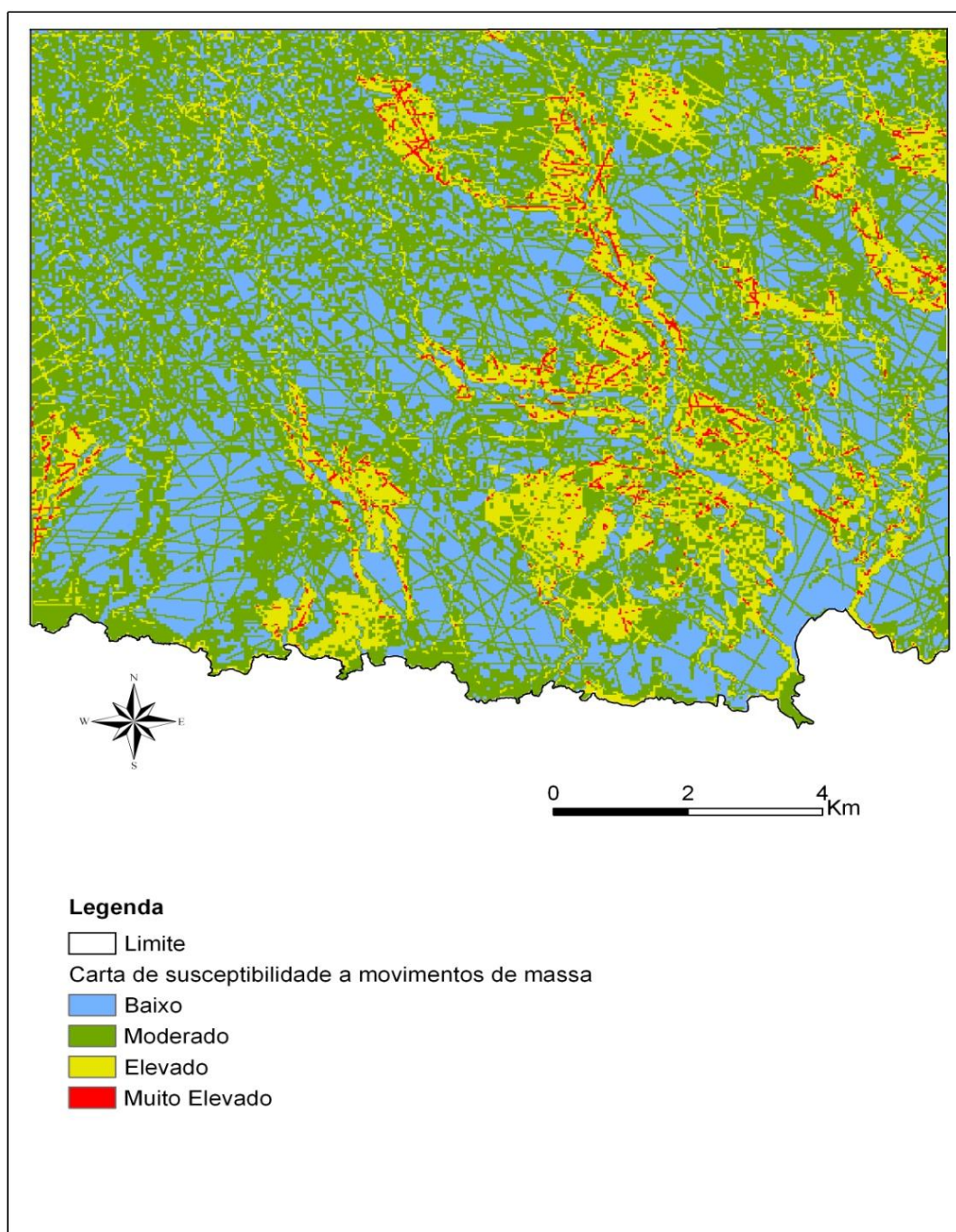


Figura 1.7 - Carta de susceptibilidade a movimentos de massa (Vitória, 2006).

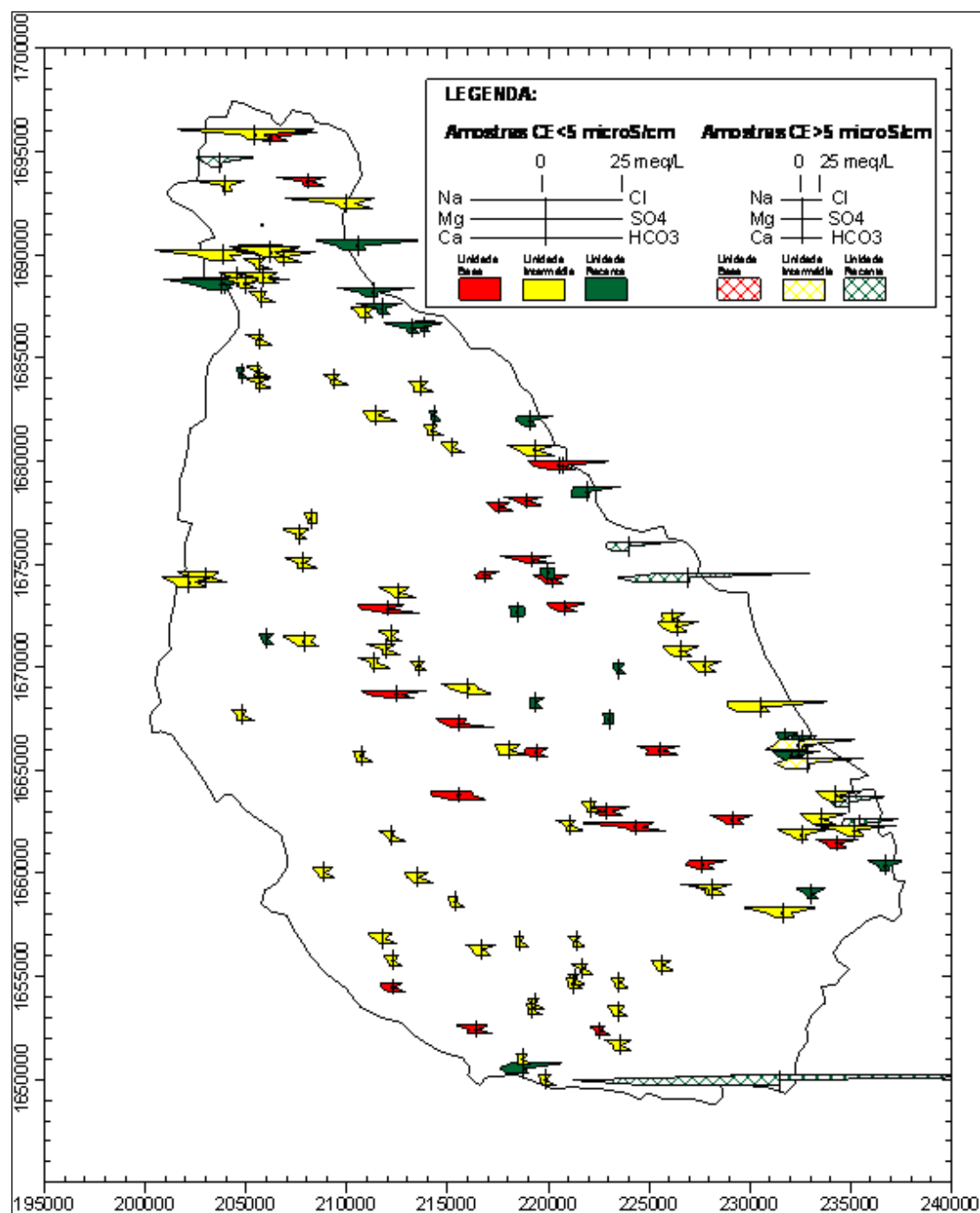


Figura 1.8 - Distribuição das principais fácies hidroquímicas por unidade hidrogeológica (Gomes, 2007).

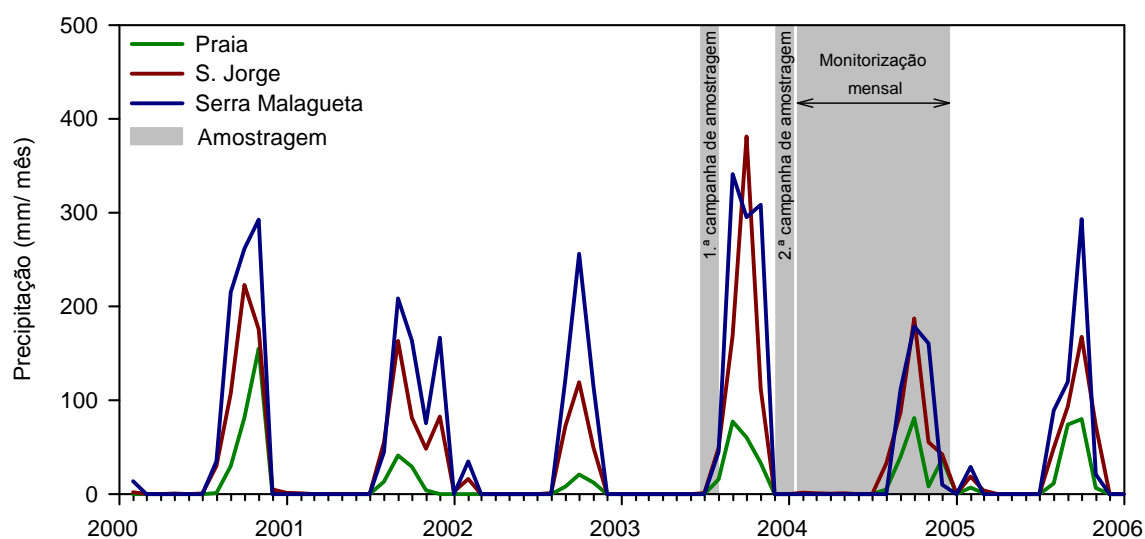


Figura 1.9 - Cronograma das campanhas de amostragem para a caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na ilha de Santiago (Pina, 2009).

1.2 Objectivos gerais

O trabalho a desenvolver pretende incrementar o conhecimento científico através do estudo das características físicas do território, designadamente geológicas e geotécnicas, na região mais populosa do arquipélago, a cidade da Praia, capital do país, e, assim contribuir para o desenvolvimento da ilha de Santiago, em particular, e de Cabo Verde no geral.

Inúmeras metodologias têm vindo a ser utilizadas e desenvolvidas ao longo de décadas, contribuindo para o planeamento local e regional, a partir de cartas analíticas e de síntese (UNESCO/IAEG, 1976), visando a optimização da ocupação e uso do espaço (Franco *et al.* 2010; Silva, 2003). Atendendo à concentração de construções que por definição, caracterizam o espaço urbano, os aspectos geotécnicos do solo assumem um papel diferenciador no que concerne à selecção de áreas adequadas (Gomes & Mendes, 1996; *in* Tavares, 1999).

Sendo a cartografia um dos recursos principais do presente trabalho considerou-se a unidade litológica como elemento básico da cartografia, tendo sido utilizado o critério litogenético (UNESCO/IAEG, 1976), sendo este apoiado por trabalhos de reconhecimento geológico, e em ensaios de campo e de laboratório.

Como objectivo norteador procura-se a redefinição das unidades litológicas, a uma escala 1/10.000, a partir da base geológica de Serralheiro (1976), na escala 1/25.000. Associada à representação cartográfica das unidades, apresenta-se uma proposta de coluna litológica sintética, e a correlação com as unidades geológicas definidas por outros autores, procurando-se enquadrar e facilitar a leitura das unidades agora consideradas.

Um dos enfoques da investigação foi a realização de um conjunto de ensaios e análises laboratoriais visando a caracterização dos parâmetros físicos e mecânicos das diferentes unidades líticas definidas para a área em estudo.

A cartografia e caracterização das unidades litológicas constituirão um suporte às acções de construção e infra-estruturação urbana, às políticas de ordenamento do território e protecção civil e, sendo a investigação centrada em cenários de acelerada expansão urbana da Cidade da Praia, de desenvolvimento de infra-estruturas de engenharia, como estradas, fundações, barragens e aterros, entre outras.

1.3 Objectivos específicos

Para além da cartografia são objectivos específicos a caracterização geológica e geotécnica dos materiais da área em estudo e que se localiza na Praia, Cabo Verde. Para a concretização destes objectivos recorreram-se a diversos métodos, visando a redefinição de unidades litológicas e a obtenção de parâmetros físicos caracterizadores dos materiais.

Na Figura 1.10 está representado o fluxograma de actividades realizadas, assim como os métodos e técnicas de análise empregues em cada uma das fases do trabalho investigativo, o qual envolveu um momento de definição de recolha de elementos, uma definição metodológica, a produção e obtenção de dados, a análise e discussão de resultados.

1.4 Estrutura da tese

O trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma:

No 1º capítulo, desenvolve-se a introdução com o estado da arte, os objectivos gerais e específicos, e a estrutura da tese.

No 2º capítulo, efectua-se descreve-se a caracterização da área de estudo, com a localização regional, a divisão administrativa e a caracterização populacional; aborda-se o clima, a geologia, a geomorfologia, os recursos hídricos e ainda os solos.

No 3º capítulo são abordados os métodos utilizados incluindo a pesquisa e revisão bibliográfica e cartográfica, conceitos descritivos dos materiais, trabalhos de campo realizados, amostragem para os ensaios laboratoriais, trabalhos de gabinete para elaboração da carta litológica, ensaios *in situ*, ensaios laboratoriais em materiais desagregados, trabalhos de laboratório com rochas, e de avaliação da radioactividade natural, trabalhos de gabinete utilizando a detecção remota para a cartografia de radioactividade natural e tratamento digital de dados topográficos e geológicos.

No 4º capítulo, apresenta-se a carta de unidades litológicas, elaborada com suporte em trabalhos de campo e detecção remota, com breve síntese das estações de campo. São

descritas as unidades litológicas e relações geométricas através de perfis - tipo das unidades reconhecidas.

No 5º capítulo, refere-se a caracterização geológica e geotécnica das unidades litológicas com os resultados dos ensaios geotécnicos, bem como os resultados complementares geotécnicos, de outras fontes bibliográficas, os resultados do conjunto dos dados geoquímicos e petrológicos das unidades litológicas, os resultados dos dados da radioactividade natural e uma síntese das características geológicas-geotécnicas das unidades litológicas. Por último, apresenta-se as considerações finais com apresentação de valores indicativos para fundações de edifícios, aterros, materiais de construção e potencial hidrogeológico.

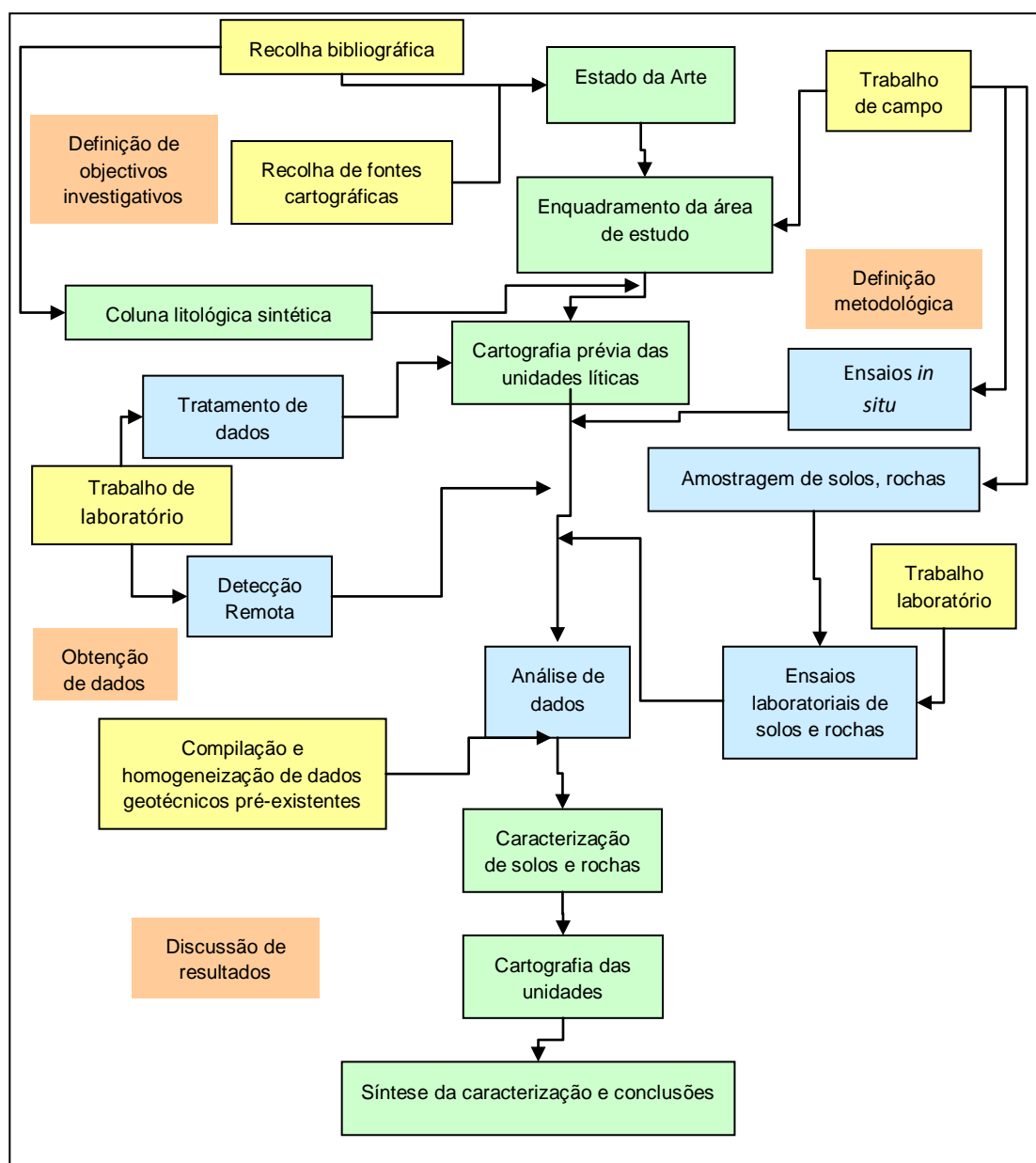


Figura 1.10 - Fluxograma de actividades, métodos e técnicas de análise realizados.

2

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização regional, divisão administrativa e população

O arquipélago de Cabo Verde, estado independente desde 1975, localiza-se no oceano Atlântico, a cerca de 500 km a Oeste da costa do Senegal, entre os 14°N e 18°N de latitude e os 22°W e 26°W de longitude. Integra o grupo das ilhas designado por Macaronésia, da qual fazem ainda parte os arquipélagos da Madeira, das Canárias e dos Açores.

Cabo Verde emerge de uma elevação topográfica com aproximadamente 3 km de profundidade e cerca de 1.000 km de diâmetro designada por *Cape Verde Rise* (elevação de Cabo Verde), delineada pelo contorno da batimetria dos 4.000 m de profundidade.

É constituído por 10 ilhas (Figura 2.1), nove das quais habitadas, em que a menor apresenta uma área de 35 km² (ilha de Santa Luzia, desabitada) e a maior 991 km² (ilha de Santiago). O arquipélago contém ainda treze ilhéus desabitados, totalizando uma área de 4.033 km². A população de Cabo Verde está estimada em 491.875 habitantes (INE, 2010).

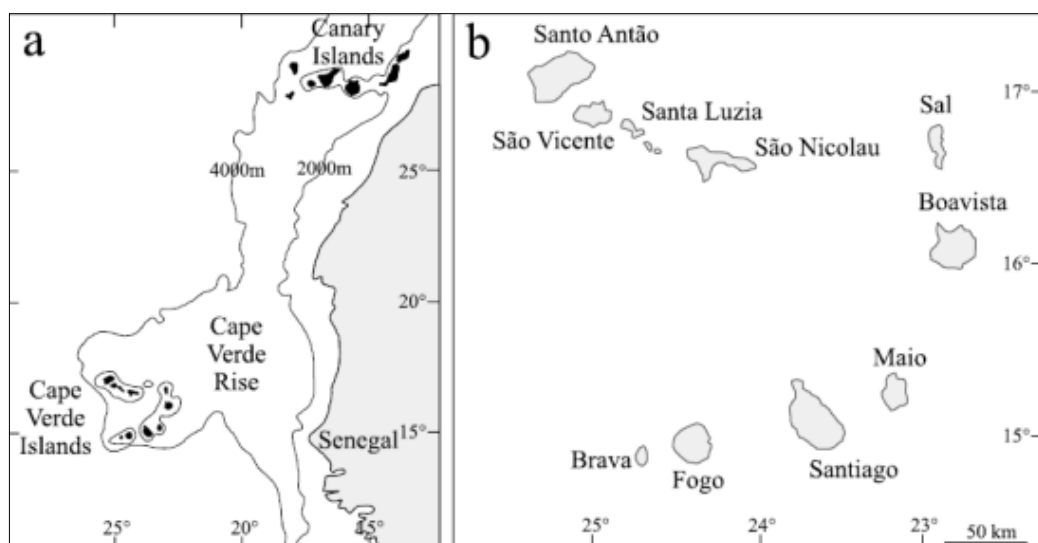


Figura 2.1 - Arquipélago de Cabo Verde, sua localização regional e constituição (Plesner *et al.*, 2002).

Caracterização da área de estudo

As ilhas, de origem vulcânica, apresentam, para além de dimensões e formas diversas, particularidades geológicas e geomorfológicas que as diferenciam; são classificadas de acordo com a sua posição em relação à direcção dos ventos dominantes que sopram de Nordeste (Figura 2.1), em dois grupos:

- Barlavento, situadas a Norte do arquipélago, e incluem de Oeste para Leste as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista; inclui também os ilhéus de Branco e Raso, situados entre Santa Luzia e São Nicolau, o ilhéu dos Pássaros, na ilha de S. Vicente, o ilhéu Rabo de Junco, na costa da ilha do Sal e os ilhéus de Sal Rei e do Baluarte, na costa da ilha de Boavista;
- Sotavento, situadas a Sul do arquipélago, e incluem de Leste para Oeste as ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava; incluem também o ilhéu de Santa Maria, na ilha de Santiago; os ilhéus Grande, de Cima, do Rei, Luís Carneiro e Sapado, a cerca de 8 km da ilha Brava, e o ilhéu da Areia, junto à costa dessa mesma ilha.

A ilha de Santiago situa-se na parte Sul do Arquipélago, entre os paralelos 15° 20' e 14° 50' de latitude Norte e os meridianos 23° 50' e 23° 20' de longitude Oeste do meridiano de Greenwich. É a maior ilha do arquipélago, representando 25% da sua área. Tem forma alongada na direcção NNW-SSE, adelgada na região Norte com um estrangulamento de cerca de 6 km. Com um comprimento máximo de 54,9 km entre a Ponta Moreia, a Norte, e a Ponta Mulher Branca, a Sul, e uma largura máxima de 29 km entre a Ponta Janela, a Oeste, e a Ponta Praia Baixo, a Leste. Pertence ao grupo das ilhas de Sotavento e ao das ilhas altas ou montanhosas, com uma altitude máxima de 1.392 m.

A capital de Santiago é a cidade da Praia, que é a mais povoada e o centro político e económico do arquipélago. A ilha de Santiago é constituída por nove concelhos (Tarrafal, São Miguel, Santa Catarina, Santa Cruz, São Salvador, São Lourenço dos Órgãos, Ribeira Grande, São Domingos e Praia) e onze freguesias.

Santiago conta com uma população de 273.919 habitantes de acordo com o INE (2010). O concelho da Praia a capital é o mais povoado, com 131.719 habitantes, seguindo-se o concelho de Santa Catarina com 43.297 habitantes.

Segundo estimativas do INE (2010), a maior parte da população concentra-se nos centros urbanos do País. Na ilha de Santiago, a tendência é cerca de 61% de população é urbana (166.502 habitantes) e 39% de população é rural (107.417 habitantes).

No concelho da Praia, a população urbana é cerca de 127.832 habitantes e 3.770 habitantes podem-se considerar que vivem no meio rural.

2.2 Clima

2.2.1 Considerações gerais

Nas últimas décadas, Cabo Verde tem sido fustigado por secas severas, embora, já tenha apresentado no passado um clima mais húmido, segundo os dados existentes. A região do Sahel, onde se enquadra o arquipélago de Cabo Verde, é bastante vulnerável às alterações climáticas, por se encontrar a sul de uma vasta faixa do deserto do Sahara onde sopram predominantemente os ventos dos alísios do Nordeste.

Duas estações do ano caracterizam o clima deste arquipélago: a estação Seca ou “Tempo das brisas”, que vai de Dezembro a Junho, e a estação Húmida ou “Tempo das águas” que vai de Agosto a Outubro. Os meses de Julho e Novembro são considerados de transição. A estação das águas, a mais quente, está intimamente ligada à deslocação para Norte da Convergência Inter-tropical, enquanto na estação das brisas, mais fresca e seca, predomina a acção dos alísios do Nordeste (Amaral, 1964).

A ilha de Santiago pertence ao grupo das ilhas de relevo montanhoso a qual devido à influência relativa dos ventos alísios de Norte e nordeste, beneficia de boas precipitações, com uma média da ordem dos 340 mm. A precipitação pode entretanto atingir valores máximos de 700 a 800 mm nas altas vertentes do lado Este do Maciço de Pico de Antónia e Serra Malagueta, 400 mm no planalto de Assomada (Santa Catarina) e cerca de 200 mm na costa Este das extremidades Norte e Sul da ilha. Nas vertentes expostas ao lado Leste da zona costeira os valores de precipitação podem ser elevados, atingindo perto de 1000 mm.

Estima-se que 18% da precipitação origina escoamento superficial, 13% infiltra-se para recarga das águas subterrâneas e 69% perde-se por evaporação. A evaporação potencial é ligeiramente superior a 1.900 mm para a globalidade da ilha.

De acordo com a influência de temperatura, nebulosidade, pluviosidade, e principalmente o grau de aridez ou secura, encontram-se as seguintes zonas microclimáticas, que variam com a altitude (Gomes *et al.* 2004):

- Zona húmida, situada a partir dos 500 m, com pluviosidade de 500 mm.
- Zona sub-húmida, entre 200 a 500 m de altitude, com pluviosidade compreendida entre 400 e 500 mm.
- Zona semi-árida, entre os 100 e 200 m de altitude, com pluviosidade compreendida entre 250 e 400 mm.
- Zona árida, situada abaixo dos 100 m, com pluviosidade inferior a 250 mm.

2.2.2 Temperatura

Na ilha de Santiago, a temperatura média anual ronda os 25° C, e a amplitude térmica anual é relativamente baixa (inferior a 10° C).

Os dados disponíveis para a ilha de Santiago (INMG, 2010), relativamente à temperatura, restringem-se a sete estações climatológicas e são incompletas (Praia

Caracterização da área de estudo

aeroporto, Assomada, S. Francisco, S. Jorge dos Órgãos e Chão Bom, Trindade e S. Domingos).

Na tabela 2.1, representam-se os dados disponíveis para a temperatura da ilha de Santiago.

Tabela 2.1 - Dados de temperaturas médias mensais para as estações climatológicas de Santiago (INMG, 2010).

Estação Meteorológica	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Praia Aeroporto	1960-2008	22,9	23,1	23,6	23,9	24,6	25,4	26,0	27,0	27,3	27,2	26,1	24,0	25,1
Assomada	1987-2001	18,7	19,1	19,6	19,8	20,6	21,7	22,2	23,1	23,4	22,9	21,9	20,0	21,1
S. Francisco	1980-2002	22,2	22,1	22,7	23,0	23,7	24,7	25,4	26,4	26,7	26,5	25,4	23,6	24,3
S. Jorge dos Órgãos	1981-2004	19,6	20,0	20,7	21,4	22,4	23,6	23,9	24,6	24,7	23,9	22,5	20,8	22,3
Chão Bom	1981-2001	23,2	22,7	23,0	23,7	24,1	24,9	25,7	26,5	26,9	26,9	26,0	24,6	24,9
Trindade	1980-2001	22,3	22,6	23,0	23,4	24,3	24,9	25,1	25,7	26,1	25,9	25,0	23,1	24,3
S. Domingos	1984-2001	20,7	21,2	21,7	22,2	23,1	24,1	24,6	25,1	25,4	25,2	23,9	22,3	23,3

O tratamento dos dados por médias ponderadas indica-nos que a temperatura média mensal na ilha de Santiago é de 23,6°C, a mínima é de 18,7°C e a máxima de 27,3°C. Os valores mais baixos de temperatura registam-se em Assomada (média de 21,1°C) que corresponde à estação a altitudes mais elevadas e os valores mais elevados na Praia (25,1°C) e Chão Bom (24,9°C), que correspondem às estações a altitudes mais baixas, próximas do litoral.

2.2.3 Pressão e ventos

A ilha de Santiago encontra-se situada na zona onde os alísios de nordeste sopram com regularidade durante todo o ano. Embora se possam observar em certas épocas diferenças na direcção dos ventos, a circulação de nordeste é muito regular; somente nos meses da estação das chuvas se produzem maiores perturbações neste fluxo. As direcções dos ventos dominantes são os de Nordeste (72%), seguindo-se os de Norte (10%) e de Leste (5%).

Estima-se que o regime do vento nas ilhas de Sotavento seja mais constante que nas ilhas de Barlavento; os dias de calma são pouco frequentes, cerca de 4%. Com menor frequência sopra o vento de Leste que é muito seco. Os meses de maior calma correspondem aos de Julho a Setembro.

2.2.4 Precipitação

O regime de precipitação da ilha de Santiago é marcado por uma variação inter-anual de precipitação e apresentando variações espaciais significativas (Gonçalves *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2009; *in* Victória *et al.* 2010) o que determina uma especial atenção aos períodos com elevada concentração de precipitação, os quais podem apresentar valores próximos de 100 mm diários (Costa, 1996), produzindo cheias do tipo *flash-flood* ou cheias súbitas.

Dados antigos de precipitações correspondentes a um período de aproximadamente 100 anos de observações (1865 a 1959) permitem estabelecer o padrão de precipitação geral na ilha, bem como as suas probabilidades de ocorrência no período chuvoso que abrange cinco meses, de Julho a Novembro.

Num estudo realizado para os dados dos últimos quarenta anos, D. Ferreira (1987) demonstra que apenas ocorreu precipitação em 4% dos dias na Praia, e 8 a 9% em S. Jorge e na Serra Malagueta, respectivamente. A tal corresponde cerca de 15 dias de chuva por ano no litoral e 40-50 dias no centro da ilha.

Analisando o comportamento da precipitação na série temporal de dados, verifica-se segundo Ferreira (1987; *in* Victória, 2006):

- a) Um período deficitário que começou em 1945 e que tem uma fase crítica entre 1949-1950 nas zonas altas e, em 1948, no resto da ilha; entre 1958 e 1964 em S. Jorge, e entre 1958-1965 na Trindade e Praia;
- b) Um período excedentário na maior parte da ilha, abaixo dos 500 m, entre 1949-1950 e 1967;
- c) Após 1967, ocorre uma significativa alteração climática com forte redução da precipitação, com passagem a um regime semi-árido. Essa longa fase deficitária ainda se mantém;
- d) A década de 1949 a 1958 foi a mais húmida, com 343 mm na Praia e 1116 mm na Malagueta, enquanto que a década de 1968 a 1977 foi a mais seca, com 116 mm na Praia e 381 mm na Malagueta.

Os registos históricos de cheias estão associados a chuvas de carácter torrencial durante a pequena estação pluviosa de Julho a Outubro, muito intensas e de curta duração (podem ocorrer num só dia mais de 600 mm, sendo frequentes registos de 120 mm/hora nalgumas ilhas ou bacias hidrográficas).

São efectuadas estimativas das medianas mensais de Agosto e Setembro e das anuais, com base em dados de um período de 20 anos (1977-1997), por Nunes *et al.* (2009) a partir de 77 postos udométricos, distribuídos pela fachada oriental da ilha de Santiago e região circundante. Dos valores observados nos postos udométricos os autores consideram que a precipitação mediana anual foi de 256,5 mm, sendo ligeiramente inferior à média (270,7 mm).

O valor mais elevado ocorre nas vertentes orientais dos maciços dominantes do sector central da ilha, decrescendo na direcção nordeste. Em conformidade com os resultados obtidos, tendo sido constatado que as áreas mais susceptíveis à erosão hídrica não são as mais pluviosas, mas as que registam maiores concentrações temporais das

chuvas. Encontram-se nestas condições as vertentes orientais dos maciços montanhosos mais elevados, bem como os primeiros alinhamentos de relevos mais vigorosos, directamente mais expostos aos fluxos pluviométricos de nordeste (Nunes *et al.* 2009).

Foram disponibilizados para a ilha de Santiago, dados de sete estações climatológicas e catorze postos udométricos pelo INMG (2010); a partir de 1960, embora nalgumas estações e postos esses dados não sejam contínuos. Foram tratados os dados para uma série de 39 anos (1970-2008). Das estações pluviométricas e postos udométricos apresentados, apenas o da Praia, Assomada, Chão Bom, S. Francisco, S. Jorge dos Órgãos, Babosa Picos e Curralinho, revelam séries contínuas ou dados completos.

As médias anuais em estações como Praia-Aeroporto com 151 mm a 64 m de altitude, Chão Bom com 200 mm a 14 m de altitude, distinguem-se claramente de S. Jorge dos Órgãos e Curralinho com 422 mm e 438 mm, a altitudes de 310 m e 818 m, respectivamente.

2.2.5 Humidade relativa

Em função dos dados disponibilizados pelo INMG (2010), foram calculados para a série (1982-2001), a humidade relativa, para as estações de Praia-Aeroporto, S. Francisco, S. Jorge dos Órgãos, Chão Bom e Trindade, por apresentarem dados completos. A partir de 2001, deixam de ser registados esses valores à excepção de Praia-Aeroporto e S. Jorge dos Órgãos.

O valor médio é de 74% com a mínima de 69%, e a máxima de 79%. É de notar que à medida que diminui a temperatura, aumenta a humidade relativa, porém a estação de Chão Bom apresenta os valores mais altos (79%) a uma altitude de 16 m sobre o nível médio das águas do mar.

A ocorrência de aguaceiros intensos e concentrados no tempo e no espaço promovem uma marcada erosividade das precipitações com forte irregularidade regional (Mannaerts & Gabriels, 2000) influenciando os processos de meteorização dos materiais e favorecendo processos da geodinâmica externa de demantelamento, transporte e deposição dos materiais superficiais e de substrato (Costa & Nunes, 2007).

2.3 Geologia

2.3.1 Introdução

O arquipélago de Cabo Verde fica situado numa situação de intraplaca continental (Ernst & Buchan, 2003), defendendo alguns autores que a sua origem decorra de um mecanismo de *hotspot* (plumas mantélicas), como é o caso de Morgan (1971), Holm *et al.* (2008) e Patriat & Labails (2006), notando a existência de uma ligação em crista do soco entre os arquipélagos de Cabo Verde e Canárias, bem como uma enorme similaridade nos episódios vulcânicos quanto à sua natureza e composição, sugerem que aqueles arquipélagos não se

terão formado por duas plumas mantélicas distintas, mas antes por uma zona magmatogénica controlada tectonicamente.

As rochas ígneas que afloram no arquipélago de Cabo Verde resultam fundamentalmente da cristalização de magmas primários alcalinos fortemente sub-saturados em sílica. No entanto, ocorrem também rochas evoluídas (e.g. fonólitos, sienitos nefelínicos) resultantes de processos de evolução e diferenciação magmática (Davies *et al.* 1989). Um dos grupos de rochas mais distintivo do arquipélago diz respeito aos carbonatitos, que sugere que o manto litosférico subcontinental possa constituir a fonte de, pelo menos, parte destas rochas (Hoernle *et al.* 2002). Aliás, estas evidências também foram apontadas para as ilhas Canárias, por vários autores (e.g. Hausen, 1962; Dietz & Sproll, 1970). Comparando com outras ilhas oceânicas formadas a partir de plumas mantélicas, os magmas que originaram as ilhas de Cabo Verde exibem significativa variabilidade isotópica.

Um estudo recente de Coltorti (2009) apresenta análises isotópicas e geoquímicas que indiciam assinatura mantélica a partir de um manto litosférico cratónico ou continental, muito similar às lavas de Tristão da Cunha (Doucelance *et al.* 2003). Estas evidências suportam a teoria também proposta por O'Reilly *et al.* (2009), de que as ilhas de Cabo Verde se originaram a partir da fragmentação de um antigo manto sub-continental, aquando da formação do manto oceânico durante a abertura do Oceano Atlântico.

A contaminação de magmas por este manto sub-continental antigo permite explicar as características isotópicas típicas de algumas lavas do arquipélago de Cabo Verde. Outros estudos realizados nas ilhas permitiram concluir que algumas das rochas basálticas poderão ter sofrido contaminação em níveis relativamente superficiais, quer pela assimilação de rochas carbonatíticas, quer por interação com o soco oceânico de idade Jurássica ou com fragmentos de crosta continental inferior (Jørgensen & Holm, 2002; Doucelance *et al.* 2003; Escrib *et al.* 2005; Millet *et al.* 2008).

A Geologia da ilha de Santiago é essencialmente constituída por materiais vulcânicos e vulcanoclásticos, aflorando predominantemente basaltos, basanitos, tefritos e limburgitos, produtos piroclásticos e filões, diques basálticos e limburgitos. Ocorrem em extensões menores fonólitos, traquitos, gabros, sienitos, piroxenitos e rochas sedimentares.

A ilha caracteriza-se pela presença de aparelhos vulcânicos em escudo, cujos pendores variam entre 2° a 10°, com actividade do tipo havaiano; contudo, podem-se observar indícios de manifestações vulcânicas relacionadas com erupções dos tipos estromboliano e peleano. O crescimento da ilha terá sido primeiro através de um centro emissor principal, passando posteriormente a regime fissural.

A actividade vulcânica principal terá decorrido a partir da cratera principal de um vulcão que ocuparia o Pico de Antónia. Por toda a ilha observam-se crateras recentes e bem conservadas. As formações mais antigas observam-se em áreas fortemente desnudadas, geralmente no leito das ribeiras mais profundamente escavadas.

Existem mantos basálticos com intercalações de piroclastos que assentam sobre as rochas calcárias, recortadas por filões, revelando o levantamento da ilha. As formações sedimentares marinhas, pelo facto de conterem fósseis, permitiram estabelecer a cronologia dos acontecimentos vulcânicos que originaram a actual configuração da ilha. Não existem

rochas metamórficas, podendo apenas observar-se ligeiras acções de metamorfismo resultantes do contacto dos materiais eruptivos com os pré-existentes.

2.3.2 Magmatismo

Existem vestígios da crosta oceânica, constituída por lavas em almofadas de idade jurássica que apresentam afinidades com os basaltos da Crista Média Ocêânica (MORB) e que foram encontrados nas ilhas de Santiago e Maio (Stillman *et al.* 1982; Gerlach *et al.* 1988; Bonadiman *et al.* 2005). Resultados obtidos pelo método de K-Ar, indicam idade de 40-50 Ma para os basaltos toleíticos do Jurássico (De Paepe *et al.* 1974; Mitchell *et al.* 1983; Gerlach *et al.* 1988).

A génese das ilhas de Cabo Verde está associada a processos de placa intra-vulcânica. A actividade do tipo *hotspot* ter-se-á iniciado há cerca de 19 a 22 Ma, o que resultou numa grande zona crustal de *uplift* (Cabo Verde Swell) em que as ilhas de Cabo Verde estão implementadas (Mitchell *et al.* 1983; Plesner *et al.* 2002), sendo que a actividade vulcânica permanece até a actualidade.

A existência de tufos carbonatíticos com texturas traquitóides de arrefecimento rápido, no arquipélago de Cabo Verde e particularmente os do interior da ilha de Santiago, constitui segundo L. Silva (1981; *in* Silva & Ubaldo, 1985), uma evidência de que os magmas carbonatíticos podem ter sido gerados quer na litosfera oceânica quer na continental, onde diversos reservatórios podem ter constituído fontes primárias para a sua origem (Bell, 1989; *in* Hoernle *et al.* 2002).

J. Mata *et al.* (2010) considera que alguns dos carbonatitos estudados preservam baixos índices $^4\text{He}/^3\text{He}$, que foram considerados como evidência da contribuição de uma pluma mantélica em Cabo Verde, apontando igualmente neste sentido os dados de Christensen *et al.* (2001) e Doucelance *et al.* (2003) para algumas das rochas silicatadas das ilhas do Norte de Cabo Verde. Estudos tomográficos apontam também para a presença de uma pluma do manto inferior na região (Montelli *et al.* 2006; Zazo *et al.* 2007; Mata *et al.* 2010).

Os autores Watkins *et al.* (1968) fide Knudsen *et al.* (2009) realizaram estudos paleomagnéticos em sete das ilhas de Cabo Verde, incluindo Santiago, concluindo que a parte central desta ilha é dominada por fluxos de polaridade normal, enquanto na parte sul são predominantemente de polaridade invertida.

As características que se inferem para os magmas sub-saturados de Santiago sugerem a interação de uma pluma mantélica com a litosfera oceânica, onde ocorre a mistura de líquidos derivados da pluma com porções de líquidos metassomatizados de baixo grau de fusão do manto litosférico (Martins *et al.* 2003).

Através de estudos de isótopos de Pb e Sr-Nd-Hf apresentados juntamente com os principais elementos maiores e traço, foi possível obter a história do vulcanismo em Santiago num hiato de 4,6 Ma (Barker *et al.* 2009a). As lavas Santiago demonstram variação temporal de composição sistemática. Os elementos maiores e traços mostram que as

rochas vulcânicas antigas e recentes são composicionalmente distintas umas das outras e que as rochas vulcânicas intermediárias apresentam um vasto leque de composições.

É ainda de referir que alguns estudos isotópicos e geoquímicos recentes têm permitido distinguir subunidades em alguma das Formações definidas por Serralheiro (1976). É este o caso dos estudos de Martins *et al.* (2008, 2010), os quais sugerem que as lavas submarinas precedem as lavas subaéreas da Formação do Pico da Antónia; estas evidências foram posteriormente corroboradas por observações geológicas em locais específicos e por datações realizadas por Holm *et al.* (2008). Nas lavas subaéreas, em oposição às submarinas, ocorrem anomalias negativas de K (Martins *et al.* 2003, 2008). Observam-se evidências bem marcadas de um agente metassomático carbonatíticas (baixas razões de Ti/Eu, Sc/Ca, Sm/Sr e Pb/Ce), que estão praticamente ausentes das lavas submarinas do PA (Martins *et al.* 2007, 2008).

2.3.3 Tectónica

Dados geográficos, geológicos, geomorfológicos e tectónicos a nível regional apontam para evidências de acções tectónicas de que há interferência de: (1) falhas transformantes do *Rift* inter-atlântico; (2) importantes processos de elevação e (3) lineamento principal regional com direcção NW-SE e estruturas tectónicas NNE-SSW (Pereira *et al.* 2007).

Com o objectivo de reconhecer os lineamentos estruturais e contribuir para uma melhor compreensão da génese e evolução da ilha, bem como identificar os lineamentos que cortam as formações geológicas que constituem a base da ilha de Santiago (Cabo Verde), foram efectuados estudos por Pereira *et al.* (2007, 2008); Vicente *et al.* (2008) e Victória *et al.* (2010), com suporte na aplicação de técnicas de detecção remota a imagens de satélite, a partir de sensores que operam no espectro óptico, permitindo obter de forma expedita os principais lineamentos estruturais.

Para a ilha de Santiago foi utilizada uma imagem do sensor Aster, a bordo do satélite Terra, do espectro óptico, banda visível do nível 1B, obtida durante a estação seca (02-04-03), a qual foi corrigida geometricamente, com base nos dados topográficos disponíveis e georreferenciadas para o sistema de projecção UTM com datum WGS-84.

Foi possível reconhecer uma densa rede de lineamentos dominada pelas direcções N10°-30°E, N45°-65°E, E-W, N50°-70°W e N15°-35°W. Os sistemas de falhas N10°-30°E e N45°-55°E definem as principais características morfo-estruturais, e parecem controlar os principais focos das erupções vulcânicas. No primeiro caso, foram identificadas cinco unidades diferentes (figura 2.2).

Combinando os lineamentos, o DEM (modelo digital de terreno) e a geologia pode-se concluir que as estruturas principais se comportam como falhas de desligamento (direitas e esquerdas) ou como falhas normais e inversas indicando uma evolução tectónica complexa. Em alguns casos, especialmente para as falhas normais, o deslocamento vertical pode chegar a algumas dezenas de metros.

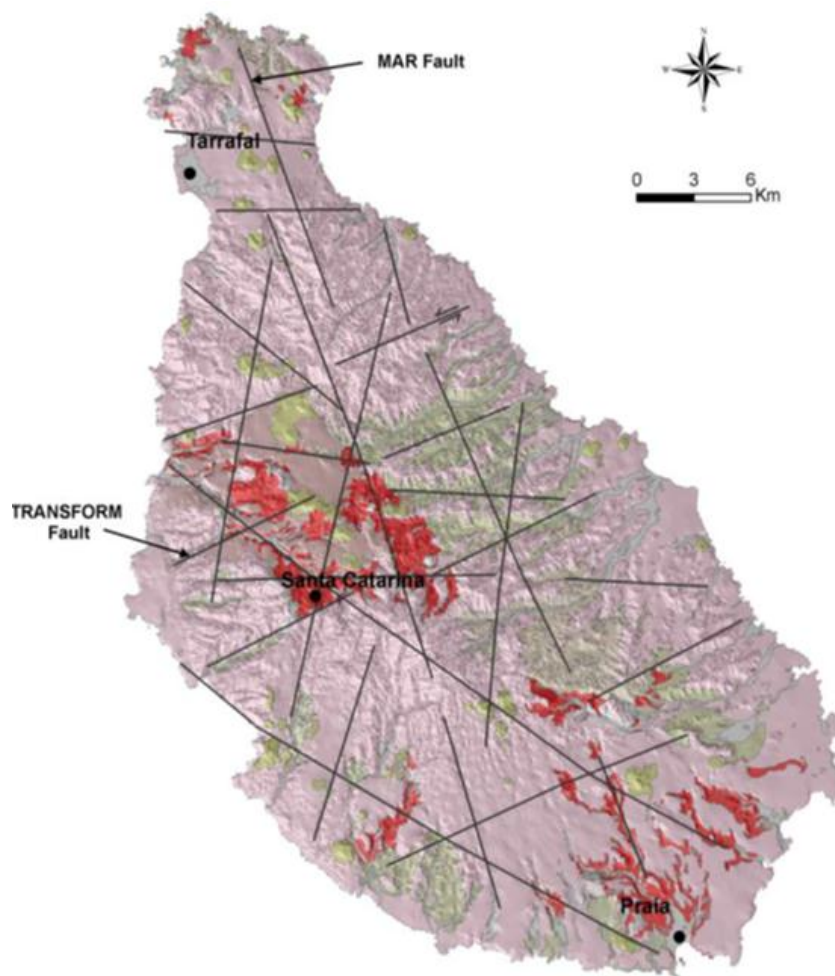


Figura 2.2 - Principais lineamentos tectónicos de Santiago (Pereira *et al.* 2008).

2.3.4 Vulcano-estratigrafia

Nos anos sessenta do século passado iniciaram-se os trabalhos de Cartografia no âmbito de uma Missão Geológica a Cabo Verde, constituída por geólogos portugueses e cabo-verdianos.

Os resultados permitiram o estabelecimento de uma sequência vulcano-estratigráfica para a ilha, que veio posteriormente permitir a comparação com as outras ilhas do arquipélago (Serralheiro, 1976). Uma síntese da informação obtida foi publicada por Alves *et al.* (1979), conforme a figura 2.3.

Esta é de seguida, descrita com base em estudos de vários autores, nomeadamente Serralheiro (1976), Alves *et al.* (1979), Martins (2003), Martins *et al.* (2003, 2008) e Barker *et al.* (2009a,b). Segundo Martins *et al.* (2003, 2010) as lavas de Santiago foram classificadas de acordo com as recomendações de IUGS em basanitos, melaneferinitos, nefelinitos, melilitos; os melaneferinitos são os predominantes.

1 – Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)

Representa o substrato da ilha, a formação mais antiga da parte emersa no actual nível de erosão da ilha, e constitui a base de todas as outras formações. Compreende

afloramentos de rochas plutónicas silicatadas, um complexo filoniano, rochas carbonatíticas intrusivas e raros mantos lávicos que se localizam em áreas desnudadas, geralmente nos vales mais profundos. A morfologia inicial encontra-se em parte destruída por filões, que recortam em elevadíssimo número todo o aparelho vulcânico, e que constituíram parte relevante no crescimento deste aparelho.

A existência na ilha de Santiago, a altitudes elevadas (até 650m) de afloramentos de CA, considerando que o mesmo é constituído quase essencialmente por filões verticais e subverticais, básicos e fono-traquíticos, bem como a presença de intrusões de rochas granulares, indica que o mecanismo de crescimento da ilha, inicialmente central, passou posteriormente também a ser periférico e, por esse facto, mais difuso.

Os afloramentos das rochas deste Complexo distribuem-se fundamentalmente por três zonas: no Norte, na baía do Tarrafal, Chão de Arruela e baía do Angra, no centro na vasta depressão ladeada pelas Serras do Pico de Antónia, da Malagueta, da Palha Carga, de Monte Pedrosos, etc., e no Sul nos vales das Ribeiras de Santa Ana, de S. Martinho Grande, da Trindade, do Forno, de Veneza, de S. Francisco e do Lobo, entre outros.

As rochas carbonatíticas são, nalguns afloramentos, mais modernas que as rochas granulares silicatadas e as brechas profundas, enquanto noutros locais atravessam fonólitos e traquitos que, por sua vez, são posteriores às granulares.

Caracterização da área de estudo

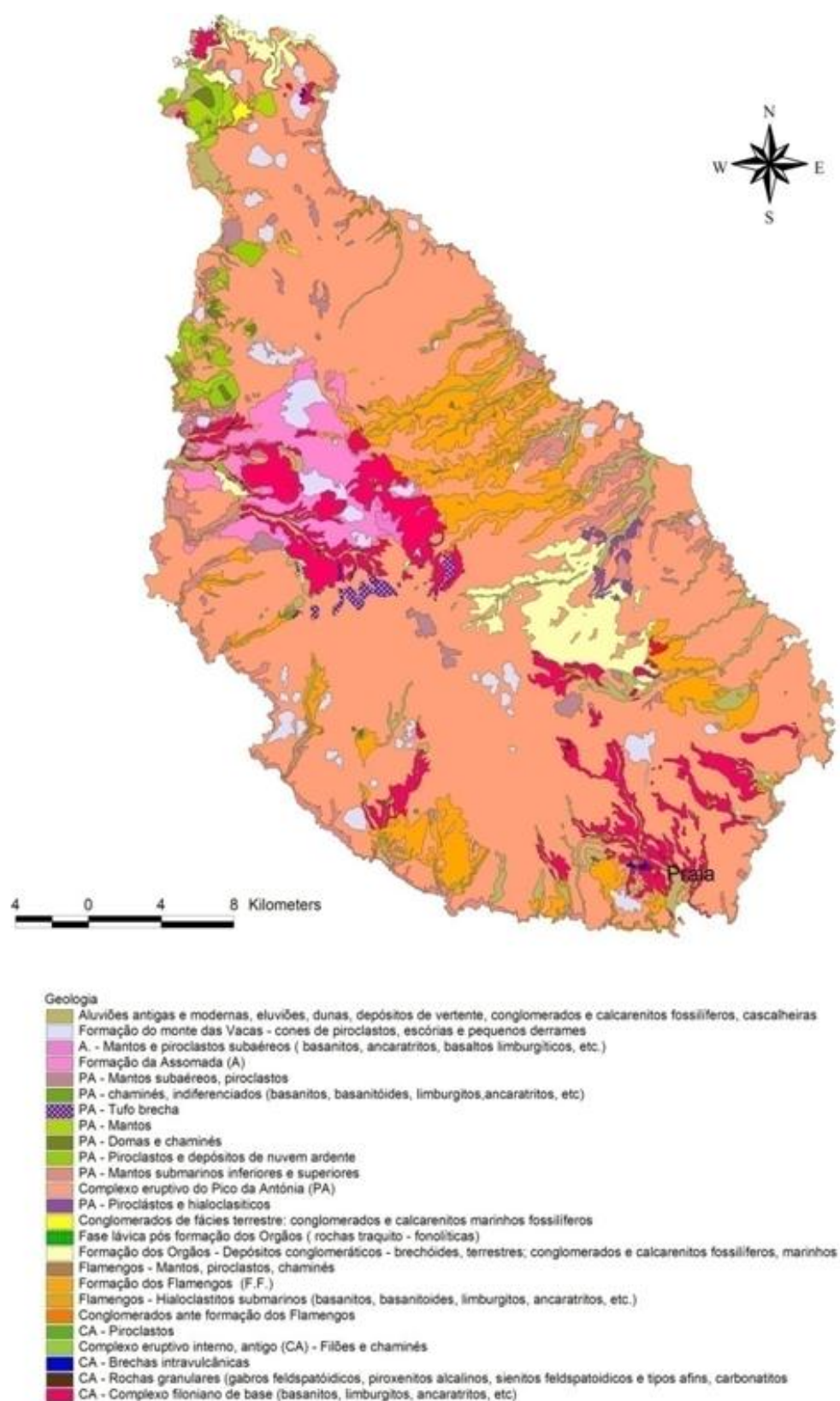


Figura 2.3 - Carta Geológica da ilha de Santiago à escala 1:100.000 (Alves *et al.* 1979, adaptado por Neves *et al.* 2006), in Victória (2006).

Distinguem-se dentro do CA as seguintes sub-unidades, da mais antiga (A) para a mais recente (E):

A – Complexo filoniano de base (CA)

Caracteriza pela existência de uma densa rede de filões bastante alterados, sendo em muitas das manchas, quase impossível de individualizá-los; apresentam cores claras (castanho claro, branco, amarelo), que por vezes chegam a atingir o estado de massas argilosas, de origem basáltica. As rochas geralmente têm uma textura porfírica de matriz fina, criptocristalina, encontrando-se profundamente fracturadas, com as fissuras preenchidas por material zeolítico e/ou carbonatado. Esta subunidade aflora em duas grandes manchas nas zonas Sul e Central e em afloramentos isolados nas partes Norte e Leste da ilha. Estes materiais parecem fazer parte de uma série petrográfica dos ankaratritos aos basanitos (Serralheiro, 1976; Alves *et al.* 1979).

B – Intrusões de rochas granulares silicatadas (Sienitos, Gabros, Piroxenitos) (γ)

São pequenas massas de contactos difusos, no que concerne às rochas gabróicas, e de filões ou filonetes referentes às sienitóides e carbonatíticas, podendo apresentar-se em pitões. Ocupam pequenas áreas, bastante alteradas, e ocorrem como encraves em outras formações mais modernas. Destacam-se os Montes Gonçalo e Pensamento, as Ribeiras de S. Filipe, do Forno, Santa Ana e Engenhos, onde afloram rochas silicatadas alcalinas (Serralheiro, 1976; Alves *et al.* 1979).

C – Brechas profundas de explosão interna, de cimento lávico e filões brechóides (B)

São formações intrusivas que se caracterizam principalmente por possuírem uma grande compacidade, sem espaço entre os clastos de dimensões variadas e angulosas, bem separados por matriz de igual composição. Estas brechas constituem intrusões bem definidas, mas de contactos pouco nítidos. A natureza das brechas depende dos elementos, que nalguns casos são fonolíticos e noutros basálticos, ou ainda granulares (melteijitos, essexitos, carbonatitos, e do cimento, que também é variável, sendo na maioria das vezes basáltico ou mesmo carbonatítico. Por vezes apresentam a particularidade de conter muitos cristais de biotite. Nalguns locais há filões de rochas basálticas e de rochas carbonatadas que cortam e acompanham estas brechas. Os filões brechóides podem atingir os 2 m de espessura e encontrarem-se geralmente orientados (na zona Sul da ilha), no quadrante W e com pendor para W-SW. Estes materiais quando alterados originam materiais de cores claras (Serralheiro, 1976; Alves *et al.* 1979).

D – Intrusões e extrusões de rochas fonolíticas e traquiticas (ϕ)

Estas formações de cor clara, esverdeada a cinzenta-esverdeada, compactas ou não, com ou sem fenocristais, correspondem na generalidade a antigos filões, filões-chaminé e chaminés e brechas. As chaminés e filões-chaminés constituem pequenas elevações de configuração erosiva cônica e aguçada, ou relevos bem definidos e diferenciados. Os filões, em geral, têm pequena espessura, não atingindo 2 m de possança, com direcções variadas de orientação e sub-verticais havendo no entanto, alguns, poucos, sub-horizontais.

Os piroclastos e brechas são constituídos por elementos de dimensões variadas. Ocorrem materiais piroclásticos apenas na ribeira de Charco e na baía de Angra, enquanto

as primeiras formas de relevo mencionadas têm maior desenvolvimento na área da Boa Entrada (Serralheiro, 1976; Alves *et al.* 1979).

E – Carbonatitos (cb)

A ocorrência de carbonatitos extrusivos está bem descrita para as ilhas de Santiago (Silva *et al.* 1981; Silva & Ubaldo, 1985) e Brava (Mourão *et al.* 2010a,b).

A maior concentração de carbonatitos na ilha de Santiago encontra-se em Canafístula, Ribeira da Barca, situada ao Norte desta ilha. Contudo, existem outras concentrações apreciáveis nas ribeiras do Charco e de Sansão, na baía de Angra e chão de Arruela, todas no Norte da ilha. Encontram-se carbonatitos associados ou não aos complexos granulares alcalinos, e em particular às formações ijólito-melteijíticas. O afloramento da Canafístula corresponde a tufos carbonatíticos globulares granulares que segundo Silva & Ubaldo (1985), representam relíquias intensamente erodidas, de uma estrutura vulcânica e subvulcânica alcalina-carbonatítica que aflora nessa região. Esta estrutura corresponde a um aparelho emissor de materiais carbonatíticos (tufos carbonatíticos subaéreos com alguns horizontes de lapilli globulares), portanto com carácter extrusivo.

Segundo Mata *et al.* (2010), com base nos trabalhos de campo complementados com análises petrográficas, considerando os afloramentos em que as amostras foram recolhidas e as idades publicadas por Bernard-Griffiths *et al.* (1975), Hoernle *et al.* (2002) e Madeira *et al.* (2005), os seguintes valores são razoáveis para as rochas deste tipo nas ilhas: Brava, 2 Ma; Fogo, 4 Ma; São Vicente, 5,7 Ma e Santiago, 9 Ma.

2 - Conglomerado ante-formação dos Flamengos (Cong.)

São formações conglomeráticas que repousam sobre o complexo eruptivo interno antigo (complexo filoniano e chaminés fonolíticas) mostrando-se em alguns casos em concordância com a formação designada dos Flamengos (λp). Encontram-se na Ribeira de S. Martinho Grande, Paiol Velho, Ribeira da Carreira de Tiro, Baía de Angra, Simão Ribeiro e Vila Nova.

Particularmente na Ribeira de S. Martinho Grande, os depósitos aparecem representados na base por leitos finos para passar superiormente a leitos grosseiros contendo restos de fósseis.

3 - Formação dos Flamengos (λp)

É uma sequência vulcânica submarina, muito extensa e uniforme, formada por mantos lávicos. A formação dos Flamengos encontra-se exposta pela erosão em vales profundos no centro da ilha; as lavas mergulham 20°-30° para nordeste (Barker *et al.* 2009b).

A Formação dos Flamengos repousa sobre o Complexo Eruptivo Interno Antigo, em situação de grande discordância, constituindo cronologicamente a primeira fase ígnea extrusiva que se encontra bem definida na ilha, ocorrendo geralmente a altitudes da ordem dos 300 m.

Esta formação é constituída por mantos, brechas e piroclastos submarinos, apresenta grande uniformidade e extensão, com mantos muito espessos. Numerosos filões e algumas chaminés atravessam as lavas da Formação dos Flamengos. Supõe-se que a maioria destas erupções deve ter-se dado através de fissuras.

A principal característica desta formação é a de apresentar grande quantidade de brechas, com poucos rolos desenvolvidos, dispersos, originando calhaus provenientes da desagregação destes. Por alteração originam materiais argilosos de tons variados, azulados, cinzentos azulados, castanho avermelhado claro ou castanho claro, distinguindo-se das lavas em rolos mais modernas (LRi e LRs), pela maior alteração e menor quantidade de *pillow*, mas com maior quantidade de brechas, o que lhe confere um aspecto de brecha sedimentar (Serralheiro, 1976).

Os mantos apresentam muitas vezes tufos e hialoclastitos intercalados (com forte brechificação). Os tufos existem nalgumas zonas em grandes quantidades, evidenciando actividade explosiva intensa. O nome da formação deve-se ao facto do seu maior afloramento se situar na Ribeira dos Flamengos.

A Formação dos Flamengos é constituída exclusivamente por lavas submarinas (*pillow*-lava e hialoclastitos) e parece corresponder a uma fase inicial de construção de vulcão-escudo submarino. Encontra-se em discordância sobre o Complexo Antigo, e actualmente afloram a partir do presente nível do mar até uma altitude de 450 m de altitude (Serralheiro, 1976). Esta unidade constitui a maior parte do edifício exposto, mas na actualidade intensamente erodida.

O ponto mais alto onde a Formação dos Flamengos aflora é em Portal da Furna (Assomada) onde a erosão expõe a sequência submarina até 450 m de altitude (Ramalho, 2009). A sequência apresenta alternância de lavas em almofadas com brecha hialoclastítica, em discordância coberta por lavas subaéreas correspondente ao Complexo Eruptivo do Pico da Antónia e Formações da Assomada do Monte das Vacas.

As lavas submarinas antigas apresentam as seguintes variedades petrográficas: basaltos olivínicos, basanitos, basanitóides, ancaramitos, ankaratritos e limburgitos (Serralheiro, 1976; Matos *et al.* 1979; Martins, 2003) e segundo Le Bas (1989) e Barker *et al.* (2009b) também melaneferinitos.

4 - Formação dos Órgãos (CB)

A Formação dos Órgãos, também conhecida como Conglomerado-Brechóide, compreende depósitos subaéreos e submarinos de conglomerados. A unidade representa um importante período de erosão (Serralheiro, 1976; Ramalho, 2009).

Trata-se de uma formação heterogénea, que inclui calcários, calcarenitosossilíferos, intercalações arenosas e conglomeráticas espessas, de elementos angulosos, sub-angulosos e arredondados de rochas basálticas, sendo exclusivamente sedimentar e representando um período de pausa vulcânica. Enquadra-se nas designações clássicas de *mud flows*, *volcanic mud flows*, *lahars* ou depósitos de enxurrada. Os depósitos apresentam maior rolamento e sedimentação mais nítida a partir das zonas centrais para a periferia.

A erosão dos depósitos de CB fez-se em diferentes períodos, como se pode concluir pela observação e análise da orografia actual, que também demonstra haver grandes áreas

desta formação recobertas por escoadas das séries posteriores. Caracteriza-se fundamentalmente pela presença de calhaus bem rolados com superfícies polidas de matriz da mesma natureza dos elementos, de cor negra ou acinzentada (quando alterada), grande compacidade e consistência.

Distinguem-se duas fácies (terrestre e marinha) com ampla e irregular distribuição pela ilha, sendo na zona dos Órgãos que apresenta maior extensão e espessura. A fácies estuarina e marinha localiza-se na orla marinha, ocupando posição periférica em relação à fácies terrestre. Os tipos petrográficos presentes são variados, desde basaltos a fonólitos e raramente gabros-feldspatoídicos.

5 - Fase lávica pós CB e ante PA

Ocorre no monte Branco, situado a menos de 1,5 km a Oeste de Belém (entre duas linhas de água da Ribeira de S. João), o qual é um domo endógeno de material traquítico, que se encontra bastante desmantelado (Serralheiro, 1976; Alves *et al.* 1979).

6 - Sedimentos posteriores à Formação dos Órgãos (CB) e anteriores às lavas submarinas inferiores (LRi) do PA

São pequenos afloramentos de rochas sedimentares (conglomerados e calcarenitos fossilíferos) que não têm representação na carta à escala 1:100.000 da ilha de Santiago. Situam-se por exemplo na linha de água que se origina do monte Vermelho, achada de Baixo, na costa Sul. Destacam-se conglomerados antigos, cuja posição estratigráfica é imprecisa (Serralheiro, 1976; Alves *et al.* 1979).

7- Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA)

As rochas do PA são responsáveis pelas maiores elevações e plataformas estruturais da ilha de Santaigo. Incluem-se neste Complexo produtos piroclásticos de actividades explosiva e efusiva, lavas subaéreas e submarinas. As rochas máficas lávicas do Complexo Eruptivo do Pico de Antónia (PA) são ultrabásicas alcalinas compreendendo basanitos, melanafelinitos e nefelinitos (Martins *et al.* 2008, 2010).

Para Serralheiro (1976), as lavas submarinas e subaéreas são equivalentes laterais, embora as últimas mais expressivas em termos de área/volume aflorante.

Recentes estudos de geoquímica efectuados por Martins *et al.* (2003, 2008), revelaram que as lavas subaéreas e submarinas apresentam assinaturas geoquímicas distintas com significativas anomalias negativas de K por parte das subaéreas o que estará relacionado com origem a partir de diferentes fontes mantélicas (*op. cit.*).

Os resultados geoquímicos desta investigação, coadjuvados por trabalho de campo, realizados em vários pontos da ilha, comprovaram a não contemporaneidade dos dois tipos de lavas e a determinação da sua posição estratigráfica relativa (as lavas subaéreas sobre as submarinas). Exemplos de relações geométricas (reveladas por zonas de alteração - paleosolos, conglomerados, superfícies erosivas) que suportam a hipótese são claramente evidenciados em afloramentos na zona de São Martinho Pequeno, Ponta Pinha, Baía de São Francisco, S. João Baptista e Porto Mosquito (Martins *et al.* 2003, 2008).

Outro facto em suporte desta hipótese decorre da continuidade cartográfica das lavas submarinas do PA com as manchas de lavas submarinas da Formação dos Flamengos (a totalidade ou uma parte) sugerindo integrarem uma só unidade, possibilidade não negada pela semelhança geoquímica das referidas lavas (Martins *et al.* 2008).

No Complexo Eruptivo do Pico de Antónia são reconhecidos:

A – Mantos subaéreos inferiores e alguns níveis de piroclastos associados, e respectivos derrames submarinos (LRi e LRs)

Pensa-se que muitos dos derrames desta série teriam corrido em antigos vales escavados nos mantos das séries inferiores (Serralheiro, 1976). Noutras zonas, em caso concreto, no Sul da ilha, a erosão diferencial põe a descoberto basaltos de estrutura colunar ou prismática em diversos locais. Podemos encontrar também formas de jazida dos basaltos em lajes, blocos e esferoidal. Há numerosos depósitos de piroclastos intercalados nos derrames.

Dentro das séries inferiores do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia, são reconhecidas duas fases submarinas inferiores e superiores (LRi e LRs) em melhor estado de conservação do que as lavas submarinas da Formação dos Flamengos. Estas lavas submarinas são constituídas por rolos e hialoclastitos, por vezes por brechas, ou ambos; fazem uma discordância angular de cerca de 45° com os basaltos subaéreos (Serralheiro, 1976).

Ocorrem rolos de grandes dimensões em Mangue de Sete Ribeiras, com secção quadrangular, arestas bem definidas e disposição em leque dos feixes dos prismas. Entre as duas séries, inferior e superior, a separação faz-se geralmente por uma discordância ou plataforma de abrasão, por sedimentos ou por mantos subaéreos intercalados (Serralheiro, 1976).

B – Fonólitos, traquitos, rochas traquifonolíticas e afins

Constituem filões, chaminés, mantos e domos de natureza mais ácida que se encontram na zona a Norte da Ribeira da Barca: Pedroso – Figueira das Naus e monte Graciosa (com dimensões consideráveis). Na Serra Malagueta observam-se chaminés de natureza traquifonolítica. A noroeste de Pedroso, no corte da escarpa, vêem-se sequências de mantos basálticos, depósitos de nuvem ardente e mantos fonolíticos, mostrando alternância de fases emissivas principais.

C – Tufo - Brecha (TB)

Ocorrem na parte central da ilha, nas vertentes Noroeste e Nordeste da serra do Pico de Antónia, resultante da intensa actividade explosiva, de espessura considerável, como por exemplo na parte central da ilha. A formação é caótica, brechóide, com tufo de cor amarela e avermelhada. Os elementos que constituem os tufo são geralmente de natureza basáltica e fonolítica, de todos os tamanhos, cimentados por escórias basálticas e tufo. Alguns dos calhaus presentes são compactos no centro passando progressivamente a vesiculares e escoriáceos; a textura lávica é essencialmente afírica.

D – Mantos subaéreos superiores e alguns níveis de piroclastos intercalados

Em certas zonas é possível reconhecer a sua delimitação graças à existência de discordâncias ou rochas de outras formações que permitem separá-las. Por exemplo, na serra do Pico de Antónia e de Palha Carga sobrepõem-se a tufo-brecha e espessos conglomerados. A culminar as séries do PA, ocorrem níveis constituídos por níveis de piroclastos, algumas escoadas e filões verticais. Em certos locais, os piroclastos encontram-se muito alterados. A separação entre as séries de mantos inferiores e superiores é marcada por discordâncias erosivas ou por sedimentos (Serralheiro, 1976).

Os tipos petrográficos do Complexo Eruptivo do Pico de Antónia, são mantos subaéreos indiferenciados, e dos filões que os atravessam são os seguintes: basaltos olivínicos, nefelínicos e limburgíticos, basanitos, basanitos analcíticos, nefelinitos, limburgitos ancaramitos, basanitóides e melilitos (Martins *et al.* 2003).

8 - Formação da Assomada (A)

Constitui a zona que compreende o Planalto da Assomada, Achada Falcão, Fundura, Achada Baixo, Charco e Ribeira da Barca, de configuração trapezoidal. É uma formação eruptiva constituída por mantos e piroclastos basálticos, provenientes de uma actividade exclusivamente subaérea. As lavas constituem extensos derrames quase horizontais e que atingiram o litoral, tendo corrido para Ocidente, fazendo uma discordância angular com os derrames do Complexo eruptivo do Pico da Antónia, como se pode observar na Achada Lazão e Tomba Toiro, entre outros locais.

A discordância não só é marcada pelas diferentes orientações dos derrames, mas também pela existência de aluviões que foram fossilizados pelas escoadas da Formação da Assomada. Os piroclastos situam-se fundamentalmente nas zonas de Santa Catarina e de Boa Entradinha. Pode representar uma fase tardia do Complexo do PA no Pliocénico.

Os tipos petrográficos dos derrames da Formação da Assomada são essencialmente basanitos analcíticos e ancarritos, ancarritos leucíticos e basanitos (Martins *et al.* 2003).

A figura 2.4 representa trabalhos realizados por Johnson *et al.* (2012), que indica que na zona Sul da ilha de Santiago, a morfologia está minimamente preservada (com uma superfície sub-estrutural a topo) e no resto da ilha o Complexo do Pico da Antónia está completamente truncado por vales profundos e, praticamente não existem superfícies subestruturais nos interflúvios. Do mesmo modo, a zona de passagem entre lavas subaéreas e lavas submarinas no Complexo do Pico da Antónia está geralmente muito elevada, excepto na zona sul, na zona do Tarrafal e noutras partes das costas Oeste e Leste da ilha, onde se formaram inclusivamente fajãs lávicas a fossilizar arribas construídas no Complexo do Pico da Antónia.

Provavelmente estas formações são mais recentes; existe um contraste entre o relevo erosivo instalado no Complexo do Pico da Antónia e formações mais antigas, e o relevo minimamente preservado dessas zonas, que na zona Centro/Oeste da ilha encontra-se em continuidade com produtos/morfologias da Formação da Assomada/Monte das Vacas (os derrames são considerados da Assomada e os cones do Monte das Vacas, mas na realidade ambos pertencem à mesma unidade; Johnson *et al.* (2012).

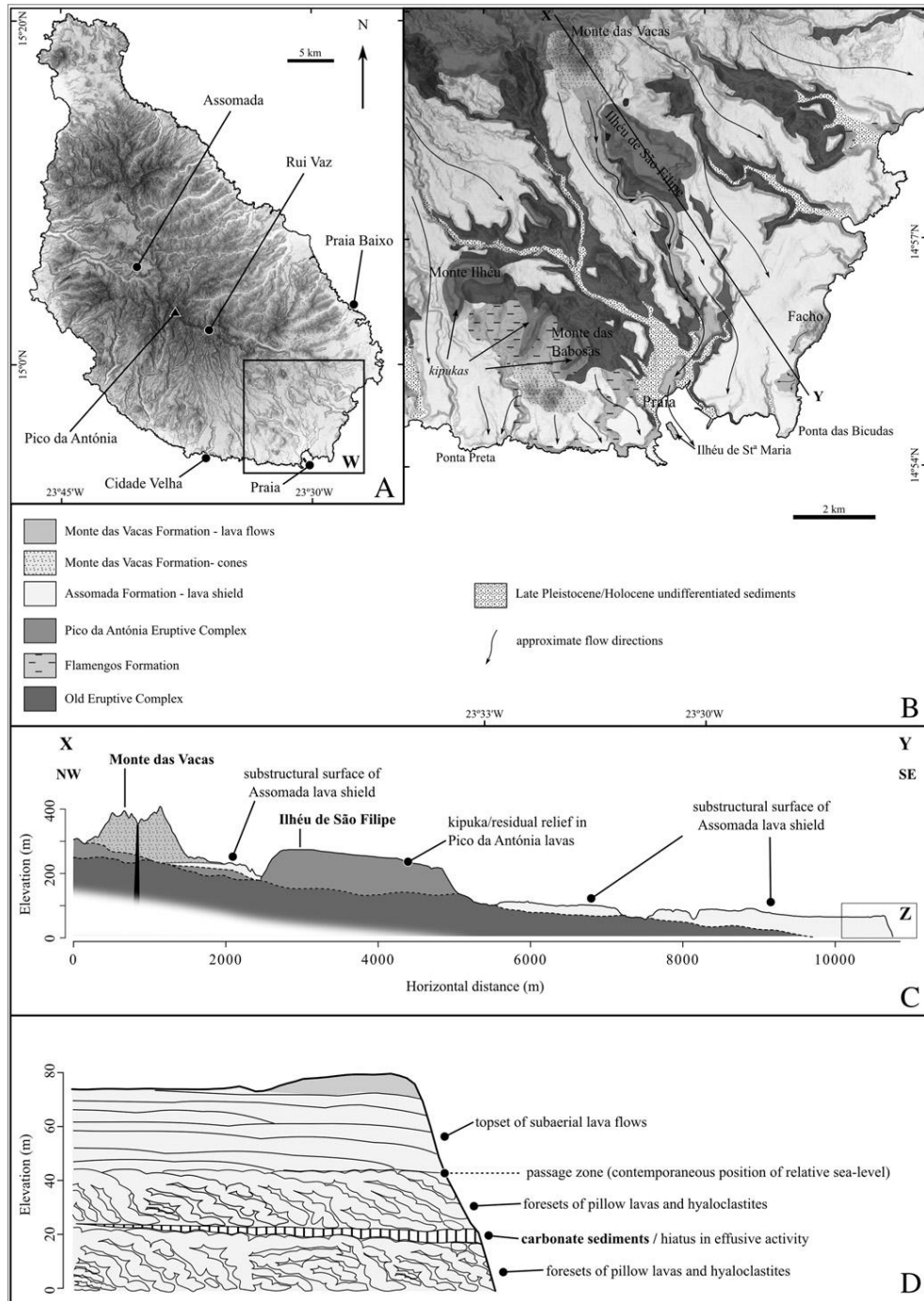


Figura 2.4 - A) Modelo digital de terreno da ilha de Santiago B) Carta geológica da Praia implementada no modelo digital de terreno C) Corte geológico XY evidenciando correlação geomorfológica e vulcanostratigráfica das lavas D) Corte detalhado da secção Z (adaptado de Johnson *et al*, 2012)

9 - Formação do Monte das Vacas (MV)

É constituída por algumas dezenas de cones de piroclastos basálticos (tufos, bagacina, bombas e escórias) e alguns pequenos mantos ou escoadas associadas. Originalmente os materiais piroclásticos têm cor negra, mas na ilha de Santiago apresentam cor vermelha acastanhada, devido a alteração muito avançada.

Nalguns locais, em muitos dos cones, há lava em forma de fitas, mais ou menos compridas, as quais ostentam arestas aguçadas devido às irregularidades da abertura (Monte Vermelho, Monte das Vacas); observando-se bombas com dimensões desde alguns cm até mais de 1 m na maior dimensão.

A observação dos materiais que constituem o cone é muitas vezes facilitada pelo desmoronamento dos flancos, resultante da acção erosiva de linhas de água, ou do abatimento da cornija onde assentam (por exemplo nos Montes Mascarenhas, Bode, Vermelho, Tira Chapéu, etc). Os edifícios vulcânicos apresentam pendores na ordem dos 25°-35°, podendo apresentar valores mais elevados.

10 – Formações Sedimentares Recentes

As formações sedimentares (Quaternárias), particularmente as marinhas, têm grande importância, por serem ricas em fósseis, embora tenham muito pequena expressão espacial. Ocorrem antigas aluviões em quase todas as ribeiras, constituindo actualmente terraços que vão sendo destruídos progressivamente. Estes terraços são formados por materiais muito homogéneos, de todas as dimensões. A maior altitude que estes terraços se encontram é de 550 m (nas vertentes da Serra do Pico de Antónia).

Ocorrem depósitos holocénicos por toda a ilha; são depósitos de vertente, às vezes muito espessos e vastos (por exemplo na vertente Norte do Monte Graciosa). Os aluviões de ribeira, que constituem dos melhores terrenos de cultura na ilha, formam várzeas, às vezes muito extensas. Ocorrem ainda depósitos de enxurrada.

As formações sedimentares recentes também incluem dunas areno-conglomeráticas, de idade quaternária; areia e cascalheira da praia e níveis de praia até 100 m de altitude.

A. Pina (2009) com base na topografia, cartografia geológica existente (cartas geológicas na escala 1:25 000), nos logs de sondagens realizadas para a prospecção de água e recorrendo a metodologia SIG, procedeu à preparação de três cortes geológicos interpretativos da ilha de Santiago, que permitiram uma melhor visualização da distribuição vertical e lateral das principais formações vulcano-sedimentares. Apresenta-se na figura 2.5, um dos três cortes geológicos.

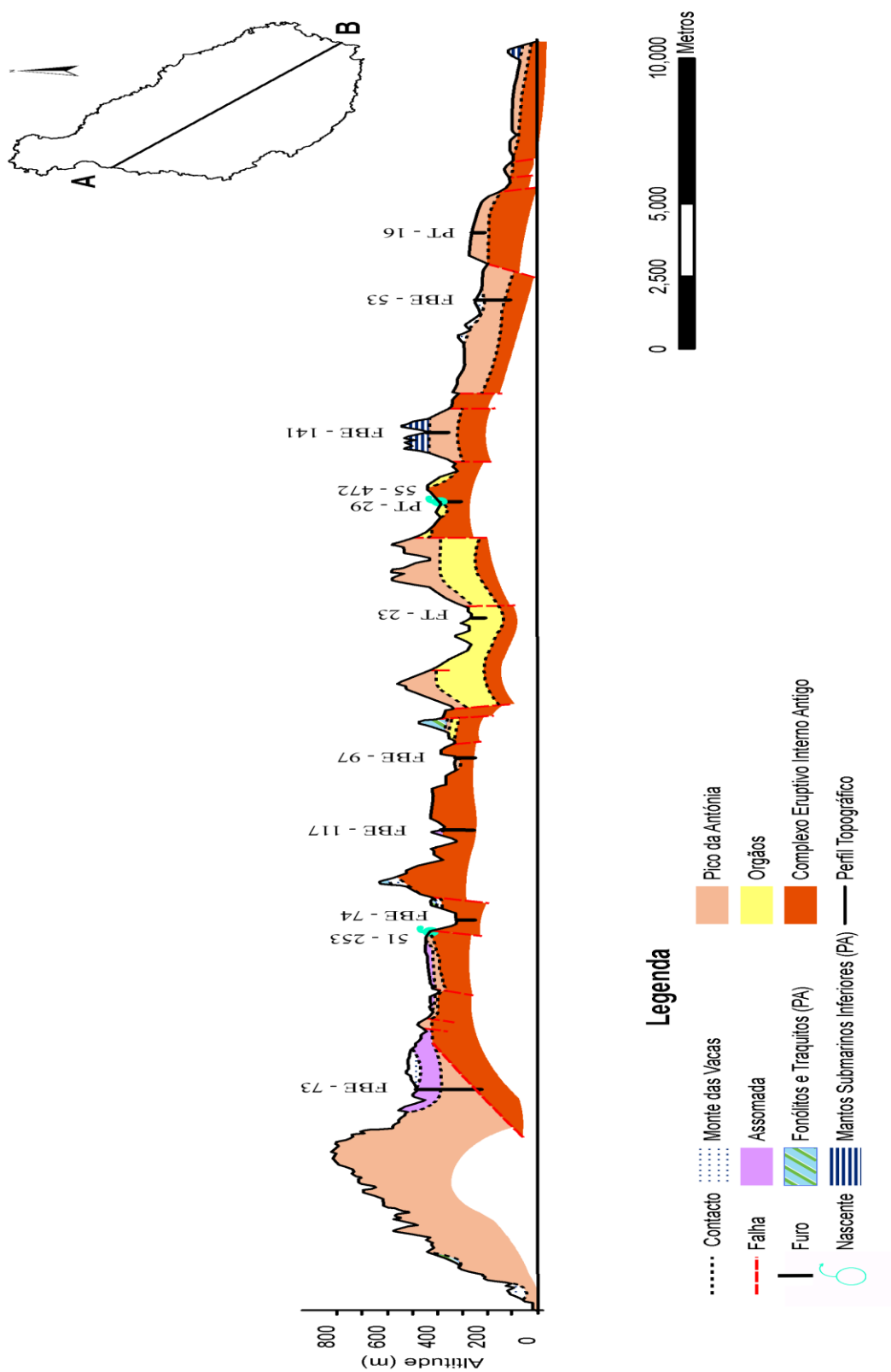


Figura 2.5 - Corte geológico interpretativo da ilha de Santiago (direcção NW-SE). Retirado de Pina (2009).

2.3.5 Datação absoluta e indícios de levantamento/subsidência

A ilha de Santiago é considerada um vulcão em escudo com uma forma alongada numa fase precose de pós-erosão (Miocénico? - Quaternário? Holm *et al.* 2008; *in* Ramalho, 2009); a ilha, apesar de cortada por vales profundos, apresenta uma morfologia recente, onde a forma e as dimensões do edifício vulcânico ainda são perceptíveis.

Vários autores, como Holm *et al.* (2008) e Barker *et al.* (2009a) entre outros, têm realizado vários trabalhos na ilha de Santiago, com a finalidade de datação das formações geológicas. Amostras de sequências lávicas de Santiago permitiram a datação $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em três grupos na ilha: (i) antigo (4,6 Ma), (ii) intermédio (3,2-2,2 Ma) e (iii) recente (1,1-0,7 Ma; Barker *et al.* 2009a).

Fragments do fundo oceânico (basaltos do tipo MORB) parecem estar presentes nas sequências do Complexo eruptivo antigo (CA), como sugerido por Gerlach *et al.* (1988) e Davies *et al.* (1989), através de processos que ainda são pouco compreendidos. Assim, o Complexo Eruptivo Antigo (CA) pode representar um edifício submarino da fase inicial de construção da ilha (Serralheiro, 1976), possivelmente incluindo fragmentos do fundo oceânico (Holm *et al.* 2008).

Algumas publicações sugerem idades para o CA (Sal, Maio e Santiago) entre $21,1 \pm 6,3$ Ma e $4,3 \pm 0,2$ Ma (Torres *et al.* 2002b; Zazo *et al.* 2007). Análises de biotites de carbonatitos por K-Ar deram idades de $9,6 \pm 0,6$ Ma e $8,5 \pm 1,4$ Ma (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Silva, 1981; Ramalho, 2009).

A Formação dos Flamengos foi inicialmente datada por Holm *et al.* (2006) e Martins *et al.* (2008) através do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tendo sido atribuída a idade de 5,5 Ma. Estudos posteriores mais detalhados permitiram a obtenção de idades aproximadas entre $4,57 \pm 0,31$ Ma e $4,59 \pm 0,09$ Ma (Holm *et al.* 2008; Barker *et al.* 2009b; Ramalho *et al.* 2009). Foram assim divididas as amostras das lavas do Vale de Flamengos em três grupos com base na petrografia, geoquímica e estratigrafia: (1) Formação dos Flamengos; (2) Grupo de Si baixo; (3) Grupo Litoral. Há um hiato significativo entre a erupção que originou o grupo do Si baixo e as amostras do grupo litoral em cerca de 2,8 Ma. O grupo de Si baixo é composto por cinco fluxos expostos em 14 km com idade de $2,87 \pm 0,31$ Ma. Estes são sobrepostos pelo grupo litoral ao longo do perfil estudado com uma idade de $2,83 \pm 0,08$ Ma (Holm *et al.* 2008).

As rochas vulcânicas de idade intermédia situam-se no intervalo de 3,3-2,2 Ma e representam a fase de construção do vulcanismo em escudo da ilha de Santiago; estas rochas pertencem ao Complexo Eruptivo Principal do Pico de Antónia (PA).

A idade atribuída a esta formação por Serralheiro (1976) baseada em evidências estratigráficas e paleontológicas, foram reavaliadas por um estudo mais recente com base em datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ realizado por Holm *et al.* (2008), que revelou idades mais recentes do que as sugeridas por Serralheiro (1976). Estes novos resultados indicam que os afloramentos nas partes Norte e Sul da ilha têm ambas idades em torno de 2-3 Ma (Holm *et al.* 2006, 2008; Knudsen *et al.* 2009).

Esta afirmação é sustentada por estudos realizados por Holm *et al.* (2008), que indica idades mais antigas para as lavas submarinas da Formação Pico da Antónia (2,9-2,8 Ma) do que para as lavas subaéreas (2,6- 2,3 Ma; Martins *et al.* 2010).

A Formação do Monte das Vacas representa a última manifestação de actividade vulcânica de carácter havaiano e estromboliano, correspondentes a episódios com idade entre 0,7-1,1 Ma (Holm *et al.* 2006; Martins *et al.* 2008; Barker *et al.* 2009a).

As Formações da Assomada e do Monte das Vacas parecem ter exclusivamente produtos subaéreos, apenas ocorrendo acima de 100 m de altitude, com excepção de dois cones, cuja base é de 40-50 m de altitude. Assim, pode-se inferir que o nível do mar no momento de formação destas rochas se situava abaixo dos 40 m. A relação idade entre esta unidade e os sedimentos do Quaternário não é clara, mas ambas as unidades são, provavelmente, parcialmente síncronas.

Serralheiro (1976) descreve sete níveis principais de sedimentos quaternários: 2-4 m, 5-10, 15-25 m, 30-40 m, 50-60 m, 60-80 m e 80-100 m de altitude. Por exemplo, na costa Leste, os sedimentos podem ser encontrados em Praia Baixo e na Nossa Senhora da Luz em que os diversos depósitos fossilíferos podem ser encontrados em 2-4 m, 5-10 m e 15-25 m (Ramalho, 2009). Em Praia Baixo, os sedimentos compreendem conglomerados e calcarenitos ricos em bivalves, gastrópodes e equinóides. Estes provavelmente correspondem ao depósito de 15-25 m, no entanto, a sua base pode ser encontrada em altitudes mais baixas desde que o depósito tenha até 20 m de espessura.

A existência de terraços marinhos de abrasão do Quaternário até 100 m de altitude na ilha de Santiago, é também uma indicação de provável levantamento recente, se considerarmos a altura máxima do nível do mar no Quaternário (Ramalho *et al.* 2010a,b).

2.4 Geomorfologia

A ilha de Santiago apresenta uma morfologia bastante retalhada de origem vulcânica observável desde zonas litorâneas até ao interior montanhoso; apresenta formas de relevo diversificadas e grandes pendentes de terreno, por vezes, desde grandes ravinas e desfiladeiros a extensas achadas (Ferreira, 1987; figura 2.6).

Conforme Assunção (1968; *in* Hernández, 2008) a intensa erosão tem actuado sobre as formas originais resultante da actividade vulcânica, pelo que muitas vezes não é possível identificar na ilha os centros vulcânicos antigos.

A erosão actua com maior expressão na vertente voltada para oriente, aquela que está mais amplamente exposta à acção dos ventos alísios do Nordeste; a erosão hídrica é o processo que afecta áreas mais extensas.

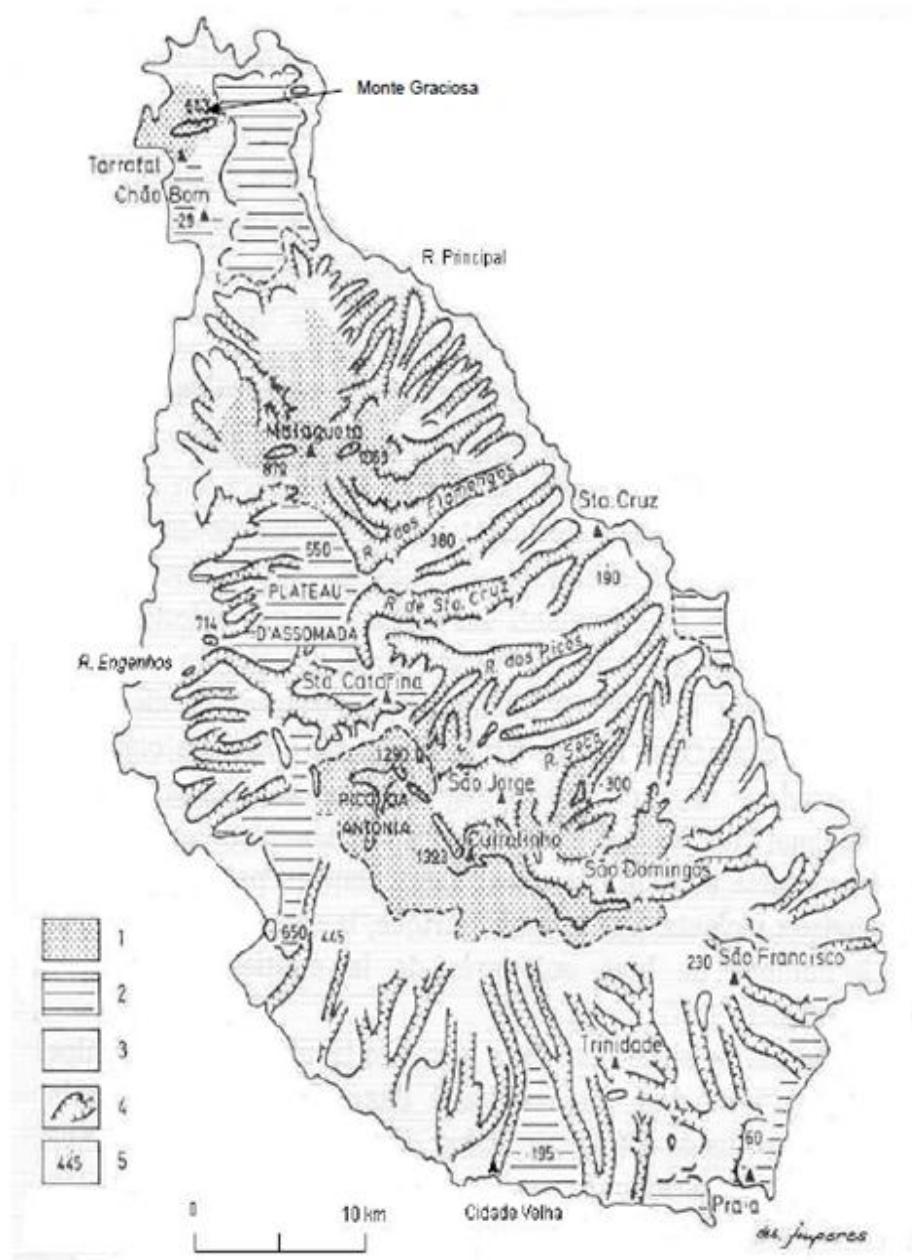


Figura 2.6 - O relevo da ilha de Santiago (Ferreira, 1987). 1- Maciço montanhoso 2- Planalto pouco dissecado 3- Planalto muito dissecado 4 – Vale encaixado 5- Ponto cotado.

A altitude média da ilha de Santiago é de 278,5 m, sendo a altitude máxima de 1.392 m (Maciço do Pico da Antónia), a Sul, e de 1.063 m (Serra da Malagueta), a Norte, separadas por um planalto a 550 m de altitude média, com cones e outros relevos em vários estados de evolução, designado Planalto de Assomada (Amaral, 1964; figura 2.7d).

Os maciços montanhosos do Pico de Antónia (figura 2.7d) e da Serra da Malagueta (figura 2.7e) podem corresponder aos flancos de aparelhos vulcânicos que tiveram maior desenvolvimento neste complexo, que devem ter coberto toda a ilha.

A Sul destaca-se uma série de achadas escalonadas entre o nível do mar e os 300-500 m de altitude. A Oeste, o litoral é normalmente escarpado e, a Leste, é aplanado e constituído por achadas. No Norte da ilha, destaca-se o Tarrafal, extensa região de achadas cujas altitudes variam entre 20 e 300 m, que se desenvolve a partir do sopé setentrional da Serra de Malagueta, devendo-se destacar a plataforma de Chão Bom, Tarrafal, cujas altitudes variam entre 0 e 20 m (figura 2.7a).

Neste relevo variado insere-se uma rede hidrográfica de regime temporário relativamente densa, correndo na grande maioria dos casos, em vales encaixados cujos talwegues apresentam perfil longitudinal torrencial (Marques, 1999, *in* Gomes & Pina, 2003).

Na paisagem sobressaem os troços terminais dos vales principais das bacias hidrográficas mais importantes cuja forma em canhão é vulgar, isto especialmente nos troços que cortam as achadas, tanto no litoral como no dos planaltos do interior da ilha. Esta forma de vale resulta da estrutura colunar que afecta as escoadas lávicas.

Reconhecem-se assim vales profundos e encaixados que dão origem a vales com forma do tipo U e tipo V. Os vales do tipo U (bastante mais profundos do que largos) observam-se em formações relativamente recentes e relacionam-se com a frescura relativa das lavas dos mantos subaéreos (e.g. Ribeira Grande; figura 2.7b). Os vales do tipo V reconhecem-se em formações relativamente antigas, compostos por materiais profundamente alterados, com grande percentagem de argila (figura 2.7c).

A ilha de Santiago apresenta uma linha de costa de 148 km, na sua maior extensão constituída por arribas. Na costa oriental as arribas são mais baixas e são interrompidas pelos troços terminais de vales amplos, dando origem a várzeas e algumas praias. Na parte Sul da ilha, a arriba entre os vales de São Tomé e a baía do Porto da Praia atingem alturas da ordem dos 30 m, limitando-se as praias à foz das ribeiras.

A costa Oeste é dominada por elevadas arribas que são pontualmente interrompidas por vales muito encaixados, correspondendo a mais vigorosa à baía de Santa Clara, onde a costa cai a pique de uma altura de mais de 400 m. Entre Chão Bom e a baía do Tarrafal, no litoral Noroeste, a costa é baixa numa ampla praia levantada que termina na escarpa Ocidental do Monte Graciosa (figura 2.7a). Na orla costeira são ainda de assinalar vários níveis de praias levantadas que atingem maior desenvolvimento na costa sudeste da ilha.



a - Planície de Chão Bom; ao fundo o Monte Graciosa, Tarrafal



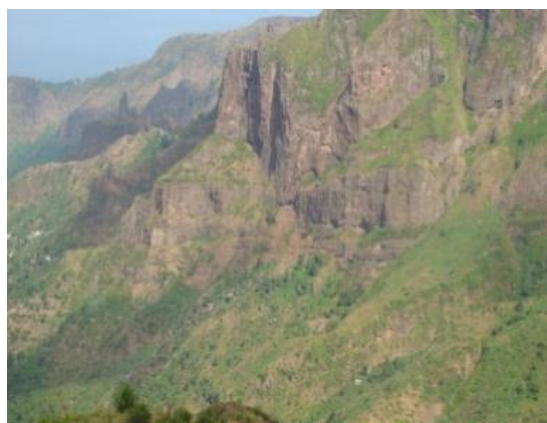
b - Ribeira Grande – Vale em U, Cidade Velha.



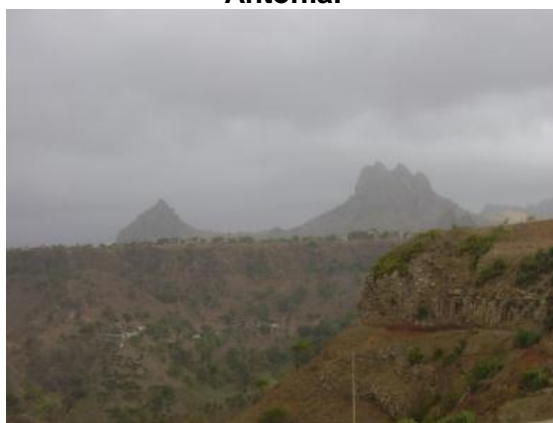
c - Ribeira Seca – Vale em V, Santa Cruz.



d - Maciço montanhoso do Pico de Antónia.



e - Maciço Montanhoso da Serra Malagueta.



f - Planalto da Assomada.

Figura 2.7 – Formas de relevo da ilha de Santiago.

A caracterização geomorfológica inicialmente proposta por Amaral (1964) e posteriormente por Marques (1983;1987;1990) permite efectuar uma síntese das sete grandes unidades geomorfológicas (figura 2.8):

- a) Achadas Meridionais (I);
- b) Maciço Montanhoso do Pico da Antónia (II);
- c) Planalto de Santa Catarina (III);
- d) Flanco Oriental (IV); e) Maciço Montanhoso da Malagueta (V);
- f) Tarrafal (VI);
- g) Flanco Ocidental (VII).

As Achadas Meridionais (I):

Iniciam-se na base meridional do Maciço Montanhoso do Pico da Antónia até ao mar, com altitude máxima na ordem dos 500 m. São superfícies estruturais e/ou subestruturais constituídas por escoadas basálticas intercaladas com tufo, pertencentes ao Complexo Eruptivo do Pico da Antónia. Alguns dos vales que entalham as achadas acabam por intersectar no seu fundo as séries do Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), que jazem sob as formações do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA).

Estas achadas possuem declives entre 2% a 12%. Destacam-se entre as bacias hidrográficas mais importantes, as ribeiras de Santa Clara, Fundura, São João, Caniço Grande, Ribeira Grande, São Martinho Grande, Trindade e São Francisco, com pendores médios entre 3,4% e 9,6%.

O Maciço Montanhoso do Pico da Antónia (II):

Onde se atinge a maior altitude da ilha, (1.392 m), prolonga-se na direcção SE-NW e tem uma localização orientada para Sul e Oeste. Evidencia uma extensão para nordeste, pelo esporão de João Teves e mais a Sul pelo de Boca Larga. Com altitudes superiores a 700 m, é dominado por picos imponentes, para além do Pico de Antónia (1.392 m), Gambôa (1.099 m), Tagarrinho (1.035 m) e Grande (878 m).

É constituído por mantos subáereos da Formação do Pico de Antónia. O maciço apresenta uma forma dissimétrica, fortemente erodida, de cimos recortados e pontiagudos, a leste com a vigorosa escarpa do Pico de Antónia sobre os vales de Órgãos e Picos. A Sul e Sudeste desce suavemente para a superfície das achadas. A oriente termina num conjunto de vales muito encaixados sobre achadas estreitas que no litoral estão representadas por arribas alcantiladas.

Os relevos isolados de Monte Brianda e Pedroso podem ainda ser considerados como resíduos do maciço com declives superiores a 25%, onde a florestação integral é difícil.

O Planalto de Santa Catarina (III):

Extensa planície de cerca de 500 m, entre os maciços do Pico da Antónia e de Malagueta, respectivamente a Sul e a Norte; apresenta alguns cones vulcânicos, mais ou menos aplanados pela acção da erosão. Inclina-se ligeiramente para Oeste, até ao litoral, onde é limitado por arribas. A Oeste ainda se destacam os relevos de Palha Carga, Monte Brianda e Pedroso.

No topo e marcando esta forma de relevo ocorre em mantos espessos de basaltos, intercalados com finas bancadas de piroclastos, de estrutura horizontal com 50-60 m de espessura.

A uniformidade do planalto, em que os declives médios variam entre 2% e 12%, é interrompida por algumas estruturas vulcânicas da Formação do Monte das Vacas, como são o Monte Jagau, Monte Felicote, etc. O planalto é cortado por alguns vales em canhão – bacias hidrográficas de Águas Belas e Sansão, no fundo dos quais existem regadios.

O Flanco Oriental (IV):

Que está exposta aos ventos húmidos de nordeste encontra-se muito erodida, devido quer, à dinâmica natural quer à ocupação do solo (práticas agrícolas e urbanização). O processo de erosão dos solos é mais acentuado devido à ausência ou fraqueza de coberto vegetal. Existe grande variabilidade das formas de relevo com declives acentuados e elevada erosividade hídrica.

As principais bacias hidrográficas que a constituem são dominadas pelas ribeiras de São Domingos, Praia Formosa, Seca, Picos, Santa Cruz, Salto, Flamengos e São Miguel.

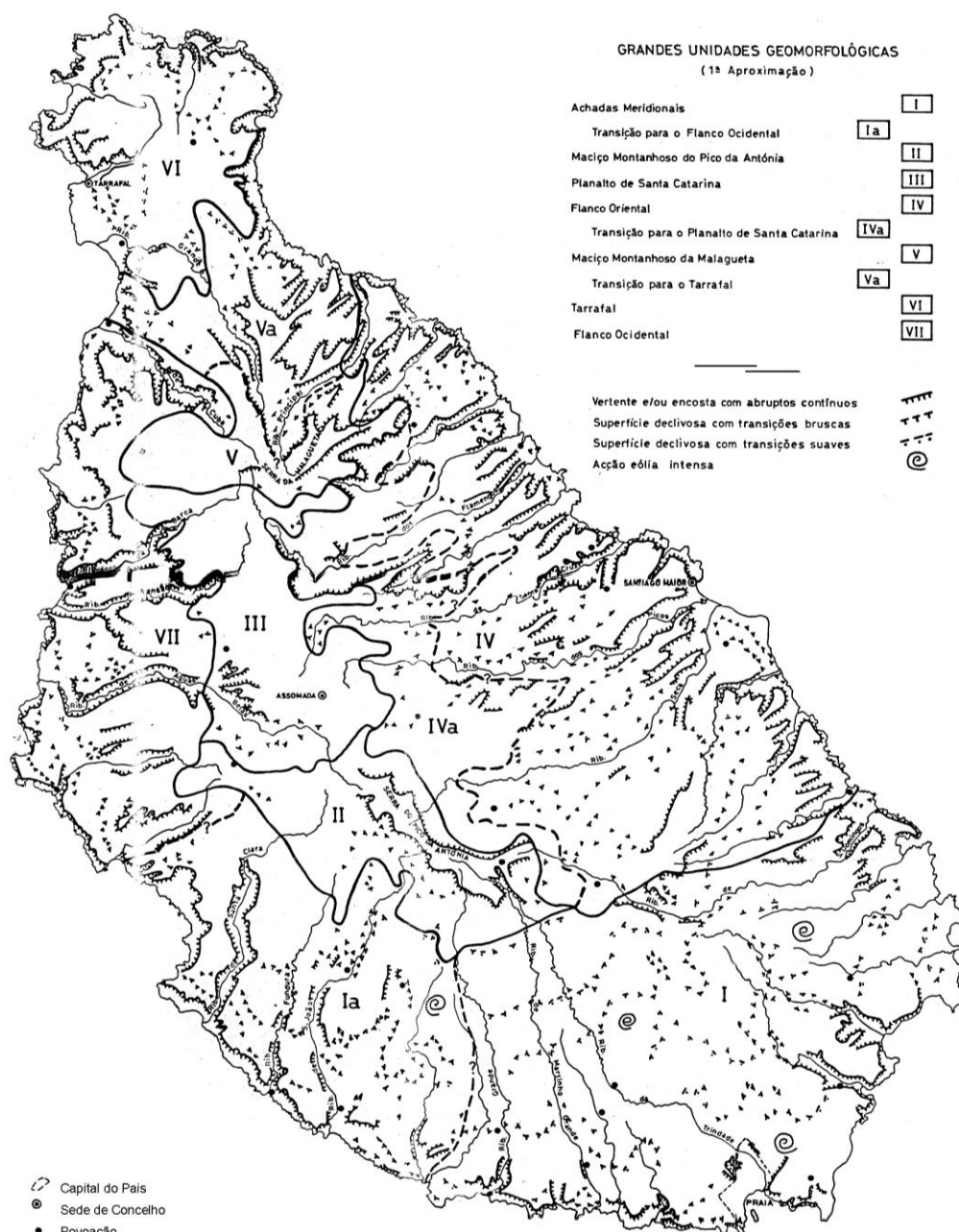


Figura 2.8 - Grandes Unidades Geomorfológicas da ilha de Santiago (Marques, 1990).

O Maciço Montanhoso da Serra da Malagueta (V):

Localizado a Norte, é limitado a Sul por uma escarpa bastante íngreme, de orientação E-W no cimo da qual se localizam os pontos mais elevados, estendendo-se até ao litoral. Este maciço é formado por camadas de basaltos espessos, com intercalações de piroclastos, preenchidos por uma rede densa de filões. Apresenta escarpa vigorosa sobre o planalto de Santa Catarina, de orientação geral E-W desde Ponta Talho em São Miguel até á costa ocidental da ilha nas Pontas Ruim e Água Doce, terminada em arribas. A vertente Norte do maciço desce suavemente para o Tarrafal, encontrando-se escavado por

profundos barrancos que isolam fiadas de colinas em cristas alongadas. O ponto mais alto da Serra chega a 1.064 m, tendo o alinhamento central altitudes entre os 700 a 1.000 m.

O Tarrafal (VI):

Trata-se de uma área de achadas que vão desde Ponta da Achada, Achada Tomás, Achada Bilim, escalonadamente entre 20 e 300 m de altitude, constituídas por formações do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia. Estruturas vulcânicas mais recentes, como os montes Côvado, Matamo, Vermelho, Braga e Furna pertencem à formação do Monte das Vacas, onde os produtos de explosão alternam com lavas. O monte Graciosa (643 m) apresenta uma cúpula de fonólitos e traquitos, rodeada por mantos basálticos, bem como os montes Matamo (360 m) e Costa (336 m).

O Tarrafal para além da bacia hidrográfica da ribeira Grande, apresenta as achadas de Lobrão, Fazenda e Fontão. Entre a Vila do Tarrafal e Chão Bom, estende-se uma planície de cotas entre os 6 e 10 m.

O Flanco Ocidental (VII):

Representa a transição entre o planalto de Santa Catarina e o mar. Do ponto de vista litológico-geológico integra, de forma esparsa, formações do Complexo Filoniano de Base, sobre a qual assentam escoadas lávicas e tufo do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia, e os mantos de fácies basáltica da Formação da Assomada. Trata-se de uma região extremamente árida e que desce abruptamente para o mar com acentuados declives médios das encostas entre 12% e 25% (Marques, 1987). As encostas desenvolvem-se paralelamente à linha de costa. O litoral é quase sempre de arriba viva. Destacam-se entre as bacias hidrográficas mais importantes, as integradas pelas ribeiras de Cuba, Laxa, Barca, Sansão, Águas Belas Selada e Angra.

O litoral Oeste encontra-se bastante erodido; observam-se depósitos de vertente, que cobrem as encostas e as formações subjacentes.

Os domínios naturais da Ilha de Santiago (figura 2.9) estão associados a um tipo específico de relevo, essencialmente na base é constituído por uma litologia basáltica, com alguns sectores a apresentar intercalações de rochas calcárias (Oliveira *et al.* 2009). As formas de relevo e processos da geodinâmica externa são o testemunho das características dos diferentes materiais que serão objecto de apresentação ulterior.

De acordo com Oliveira *et al.* (2009), a ilha de Santiago apresenta diversas formas de relevo sintetizadas como: domínio da planície litorânea; domínios interiores, vertente setentrional, vertente ocidental, vertente oriental, vertente meridional, domínios montanhosos, superfície dissecada (achadas), cones vulcânicos, vales abertos em planície e, vales fechados em superfícies dissecadas (*canyons*).

As áreas dissecadas, onde houve a escavação de vales, e as áreas de deposição de sedimentos respectivamente representada pelos vales fechados em superfície dissecadas (*canyons*) e por vales abertos em planície têm cursos de drenagem que se desenham em contínuas faixas de terras baixas, as quais na maioria dos casos se alargam na jusante, dando lugar às planícies aluviais.

No período chuvoso é que observa-se a acção da água agindo nas rochas por meio do intemperismo químico, através da dissolução e decomposição dos minerais das rochas, principalmente nos domínios montanhosos. De seguida, ainda por meio da acção da água, o material fragmentado é transportado das áreas mais elevadas para as achadas, vales e ribeiras, onde se desenvolve uma maior concentração de actividades agrícolas, dado os solos serem mais férteis, com maiores espessuras e mais desenvolvidos, comparativamente aos solos das áreas mais altas com relevos mais inclinados.

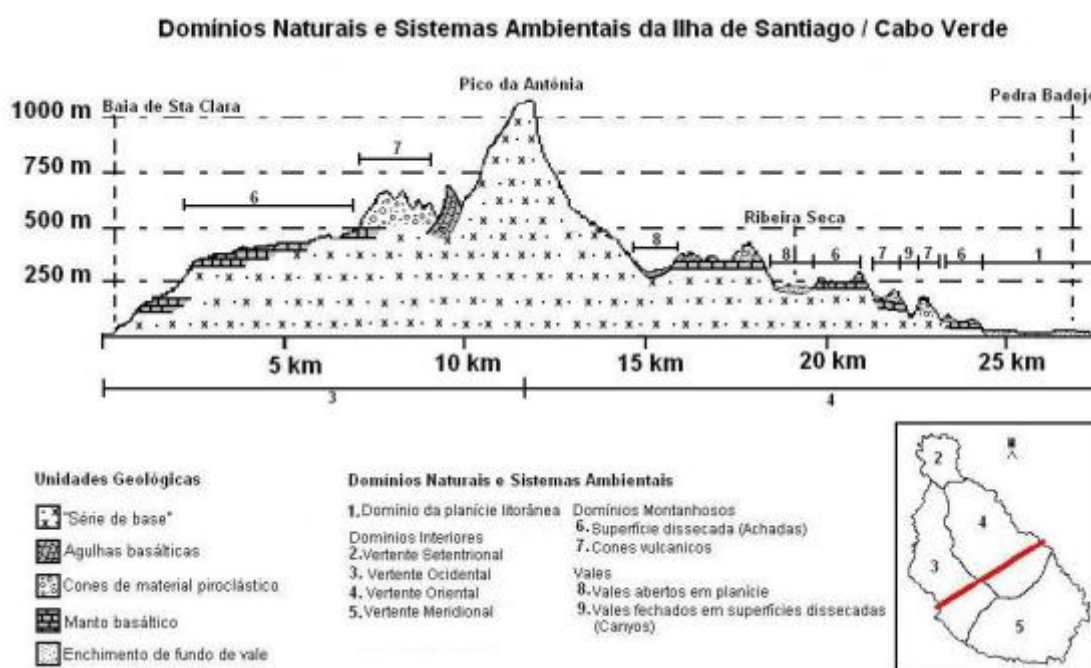


Figura 2.9 - Perfil dos Domínios Naturais e Sistemas Ambientais da Ilha de Santiago/Cabo Verde (Sousa, 2009; in Oliveira et al. 2009).

2.5 Recursos hídricos

A integração conjunta das características das unidades litológicas superficiais e de substrato, a tectónica e os alinhamentos estruturais assim como a geomorfologia, hidrologia e hidrogeologia, permite obter maior conhecimento do comportamento das unidades aquíferas. Existem vários factores que condicionam as características dos aquíferos, nomeadamente o tipo de vulcanismo, a distância ao centro emissor, a tectónica, os efeitos da idade e a presença de materiais não vulcânicos estratificados (Custodio, 1986; in Pina, 2009). A disponibilidade de água subterrânea é ainda influenciada directamente pela quantidade de precipitação e infiltração profunda que pode ou não atingir o meio saturado e descarregar em forma de nascentes ou até ao mar.

A escassez de recursos hídricos de boa qualidade evidente em ilhas vulcânicas está também relacionada com aspectos geográficos, climáticos, geológicos e de exploração intensiva dos sistemas aquíferos para várias finalidades. A sobre-exploração dos lençóis subterrâneos e a extracção de areias nas zonas costeiras tem conduzido à deterioração da

qualidade da água e ao fenómeno de intrusão salina. A prática de culturas sacadas nas encostas desnudadas tem originado o desaparecimento de áreas de cultura, deixando exposta a rocha mãe, contribuindo assim para o fenómeno de escoamento superficial directo e para a redução da recarga dos aquíferos.

A construção de habitações nos leitos das ribeiras não só tem contribuído para a impermeabilização das bacias hidrográficas, mas também para o risco associado às inundações e consequente perda de vidas humanas, poluição das águas subterrâneas e degradação ambiental. O crescimento demográfico e a má gestão dos recursos naturais têm igualmente deteriorado o meio ambiente (Gominho, 2009).

A ilha de Santiago apresenta cinco bacias hidrogeológicas, compreendendo diversas áreas de captação de dimensões variadas. As maiores extensões montanhosas (Serra da Malagueta e o Pico da Antónia), que dividem geograficamente as bacias, controlam as direcções tanto da água superficial como do fluxo da água subterrânea.

De acordo com o inventário do INGRH (2007; *in* Pina, 2009), existem na ilha de Santiago 1074 poços com um caudal explorado de 15.072 m³/dia. Contudo o INGRH faz o controlo regular de apenas 81 poços, onde é medido três vezes ao ano o nível estático, condutividade e temperatura. Existem 1.199 nascentes, a altitudes desde os 3 m até cerca de 800 m, com um caudal explorado de 23.740 m³/dia. Apenas 41 pertencem à rede de controlo e são seguidas, à semelhança dos poços, 3 vezes durante o ano.

Na ilha de Santiago a maior quantidade de água utilizada para irrigação vem dos poços; a água dos poços e das nascentes depende da quantidade da precipitação na estação chuvosa e a produção dos poços varia por mês e por ano de acordo com as condições meteorológicas a longo prazo e com a variação sazonal das necessidades para a irrigação. Actualmente, existem cerca de 780 furos de captação de água subterrânea desde o nível do mar até 700 m de altitude.

No ano 2008 foram explorados na ilha de Santiago cerca de quatro milhões m³ de água de origem subterrânea (4.432.240 m³) cerca de 42% com uso na distribuição em abastecimento, 27% para rega tradicional, 29% para rega gota a gota e 2% para a indústria (Gominho, 2009).

Em termos de recursos hídricos subterrâneos, o aquífero mais importante é o do Complexo do Pico da Antónia (PA), que se apresenta quer sob fácies terrestre quer submarina. Vários trabalhos têm sido realizados no domínio da hidrogeologia e hidrogeoquímica os quais levaram à conclusão da existência de três unidades hidrogeológicas principais e à caracterização das suas respectivas propriedades (Gomes & Pina, 2003; Gomes *et al.* 2004; Pina *et al.* 2005, 2006; Santos *et al.* 2006; Gonçalves *et al.* 2006; Gomes, 2007; Pina, 2009).

A unidade recente é constituída pela Formação do Monte das Vacas (MV) de idade Pliocénico e por aluviões (a) do Quaternário. A Formação do Monte das Vacas (MV), constituída principalmente por cones piroclásticos basálticos e derrames associados, é muito permeável, facilitando a infiltração das águas em direcção ao aquífero principal, sendo zona privilegiada de infiltração.

Os aluviões (a) comportam-se de acordo com as respectivas granulometrias, espessuras e percentagem de argila. Os aluviões nos vales a montante geralmente são pequenos e de espessura reduzida e, a jusante amplos, espessos, com materiais grosseiros e limpos. Assim, quando se apresentam espessos, grosseiros e isentos de argila, possuem porosidade e permeabilidades elevadas, pelo que permitem furos de grande produtividade, como se pode observar na parte terminal da Ribeira dos Flamengos, Achada Baleia, Seca e na Ribeira dos Picos, chegando a atingir caudais médios de exploração $40 \text{ m}^3/\text{h}$, com uma exploração média de $12 \text{ h}/\text{dia}$ e com uma transmissividade de 10^{-1} a $2,10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Quando observados a montante onde apresentam espessuras reduzidas o caudal médio de exploração é de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ com uma transmissividade de 10^{-4} a $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Pina, 2009).

A unidade intermédia é constituída pelas formações do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA), do Mio-Pliocénico e da Assomada (A) de idade Pliocénica.

O Complexo Eruptivo do Pico da Antónia é a unidade geológica mais extensa e espessa da ilha e apresenta uma permeabilidade muito superior à série de base, constituindo assim a principal unidade aquífera, integrando camadas de rochas basálticas com intercalações de piroclastos e tufos, tufos e brechas, *pillow*-lavas e brechas de base.

Nas zonas onde predominam *pillow*-lavas (fácies submarina), os valores da transmissividade são da ordem de 10^{-1} a $2,10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Nas zonas de brechas (fácies subaérea), a transmissividade média é de 1 a $2,10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. A produtividade é elevada, da ordem dos 35 a $40 \text{ m}^3/\text{h}$ nos mantos basálticos submarinos (Pina, 2009).

A Formação da Assomada apresenta basaltos alveolares e piroclastos com espessa sucessão de camadas; o caudal médio de exploração na Formação da Assomada ronda 20 - $25 \text{ m}^3/\text{h}$ com rebaixamentos pouco importantes, sendo esta produtividade similar à da fácies subaérea do Pico da Antónia. A transmissividade calculada é de 10^{-4} a $5,10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. As características qualitativas das águas desta unidade são as melhores da ilha de Santiago.

A unidade de base é constituída pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA) de idade ante-Miocénico médio, a Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$) do Miocénico médio, e a Formação dos Órgãos, conglomerático-brechoíde, também do Miocénico médio. Caracteriza-se por um grau de compactação elevado que lhe confere uma baixa permeabilidade relativamente às formações geológicas mais recentes.

Esta unidade tem valores médios de transmissividade bastante baixos ($0,2$ a $5,10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) e caudais médios de exploração também reduzidos. Os caudais máximos esperados são da ordem de 5 a $7 \text{ m}^3/\text{h}$ (Pina, 2009).

No Complexo Eruptivo antigo, a produtividade é estéril nas zonas dos tufos e variável segundo o grau de fracturação e aparecimento dos filões. No caso da Formação dos Flamengos, quando se exploram mantos basálticos submarinos (*pillow*-lavas), a produtividade é mais elevada. No que respeita à qualidade, as águas desta unidade apresentam-se em geral com mineralizações elevadas tanto maiores, quanto mais antigas forem as formações captadas. Na Formação dos Órgãos a produtividade é variável segundo a percentagem de piroclastos e a presença de filões.

O sentido geral do fluxo subterrâneo é “centrífugo”, isto é, vai da parte central para as zonas costeiras. Os gradientes são altos, embora sejam mais suaves junto à costa. A

recarga é feita por infiltração da água da chuva através das unidades mais permeáveis mas é manifestamente escassa quando comparada com os volumes captados para irrigação e abastecimento público das povoações. Cálculos aproximados da recarga com base na concentração média de cloretos na água da chuva e água subterrânea revelam valores bastante inferiores a 50 mm/ano.

A evolução dos níveis piezométricos verificada nos últimos anos demonstra que, actualmente, a exploração é superior à recarga. Como consequência há já sinais evidentes de fenómenos de intrusão marinha em algumas zonas. Mas pode desde já destacar-se que em Ribeira Seca (concelho de Santa Cruz) e Achada Baleia (concelho de S. Domingos), a interface água doce/água salgada já avançou alguns quilómetros para o interior relativamente à linha de costa. Este é um dos principais perigos que a exploração dos recursos hídricos subterrâneos configura na ilha de Santiago (Gomes, 2007).

2.6 Solos

Apresenta-se de seguida a descrição dos diferentes tipos de solos existentes na ilha de Santiago (Hernández 2008; Pinto, 2010). R. Hernández (2008) realizou a correspondência com a descrição dos solos proposta por Faria (1970) com as unidades da legenda da FAO/UNESCO (1974).

Na ilha de Santiago ocorrem oito grupos distintos de solos: Litossolos (LT), Regossolos (RG), Fluvisolos (FL), Cambissolos (CM), Castanozemes (K), Xerossolos (X), Vertissolos (VR) e Luvisolos (LV).

Litossolos

Ocupam cerca de um terço da ilha; são solos minerais, de erosão, não climáticos, jovens, pouco evoluídos associados a afloramentos de rochas consolidadas como basaltos ou rochas afins e fonólitos ou traquitos. São solos muito delgados com espessura variando entre 10 a 20 cm, em topografia variada, mas geralmente, em encostas de declive acentuado, com muito material pedregoso e cascalhento. São raros os horizontes genéticos. Estes solos apresentam um predomínio das fracções grosseiras, baixo teor em argila e matéria orgânica e pH variável (6,5-7,1). Apresentam um horizonte superficial consideravelmente reduzido pela erosão.

Regossolos

Os solos psamíticos de piroclastos são solos minerais, de depósito, relacionados com materiais não consolidados (areias de praia, piroclastos dos cones vulcânicos). Caracterizam-se por materiais arenosos mais ou menos grosseiros e por apresentarem uma elevada percentagem de seixos e calhaus rolados depositados sempre por acção das marés. Estes solos têm pouca representação na ilha, surgindo em raras faixas litorais descontínuas e estreitas. Nestes solos ocorre rara vegetação e são salinos.

Fluvissolos

Estes solos correspondem a depósitos de materiais aluvionares ladeando cursos de água temporários, torrenciais, indiferenciados ou com pequena diferenciação.

Apresentam composição granulométrica muito variável, predominando as texturas médias a grosseiras, e frequentemente com materiais cascalhentos (Diniz & Matos, 1986). Apresentam ausência de salinidade e pH neutro ou ligeiramente alcalino. Ocupam os fundos dos vales, terraços e outras acumulações das bases de vertentes. Frequentemente estes depósitos são recobertos por uma camada de material fino (limo/argila).

Cambissolos

Este grupo corresponde a solos pouco evoluídos, não climáticos, de erosão, pardos e castanho-avermelhados, ocupando cerca de 12% na área da ilha.

Estes solos apresentam uma espessura que varia entre 20 e 30 cm e ocorrem em zonas com diferentes declives. Associam-se normalmente a afloramentos rochosos sendo frequente elevada a proporção de elementos pedregosos. Podem formar-se a partir da rocha-mãe calcária ou rica em cálcio por alteração dos minerais presentes.

Castanozemes

Os solos Castanozemes háplicos apresentam geralmente um horizonte superficial descarbonatado, estrutura granulosa-nuciforme, em profundidade prismática, com materiais muito argilosos, ricos em matéria orgânica quando existe vegetação. Estes solos apresentam texturas finas (franco-argilo-limosa). Ocupam cerca de 17% da área da ilha.

Xerossolos

São solos Pardos a pardo-avermelhados, com horizonte superficial descarbonatado, e estrutura granulosa a anisoforme; em profundidade a textura é poliédrica média e fina, sendo baixo o teor de cálcio. A matéria orgânica varia entre 0,8-1,8% quando existe vegetação. Ocupam uma área de 16% do total da ilha.

Vertissolos

Ocupam cerca de 7% na ilha de Santiago; são solos minerais, sem contacto lítico ou paralítico nos primeiros 50 cm. Apresentam teores superiores a 30% de argila em todos os horizontes. Em períodos secos apresentam fendas com largura pelo menos 1cm até à profundidade de 50 cm (excepto se forem regados). Apresentam cores escuras entre o castanho, castanho-escuro a preta em estado húmido.

São solos estruturados com um horizonte B prismático grosseiro com elevada percentagem de argila. Nestes solos quanto maior for a sua diferenciação maior é a dominância das argilas expansíveis. Estas argilas provocam a abertura de fendas quando ocorre alternância de secura e humidade. São muito plásticos e adesivos quando húmidos e duros quando secos. Estes solos estão associados com topografias planas a levemente onduladas, encontrando-se sujeitos a deficiente drenagem em estação chuvosa. Derivam de rochas eruptivas básicas e lávicas, sendo susceptíveis à erosão.

Luvissolos

Estes solos ocorrem no interior e nas zonas de maior altitude, designadamente, na região dos Picos, Santa Catarina, Curralinho e imediações da Serra da Malagueta. São solos evoluídos de perfil ABC, com fracção mineral com baixa ou relativamente baixa CTC em relação ao teor de argila, e com um grau de saturação de bases superior a 40%. A argila é de natureza ferralítica. Estes solos distinguem-se dos ferralíticos por terem uma elevada porção de minerais alteráveis (Faria, 1970). Representam-se numa pequena mancha na ilha e ocupam cerca de 3% da sua área.

3

METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, foram efectuadas diversos estudos, desenvolvidos de forma sequencial ou concomitante, utilizando um conjunto alargado de fontes de pesquisa, revisão bibliográfica e cartográfica, métodos de campo, de gabinete e laboratoriais, assim como ferramentas e recursos de análise específicos, que de seguida se descrevem:

3.1 Pesquisa e revisão bibliográfica

Nesta fase realizou-se o levantamento dos trabalhos publicados sobre a área de estudo, a qual abrange cerca de 30 km² integrados no espaço do Concelho da Praia.

O levantamento das fontes bibliográficas, para além das referidas nos Capítulos 1 e 2 envolveram aspectos climáticos, geológicos, geomorfológicos, tectónicos e pedológicos. Fez-se ainda uma recolha exaustiva dos dados geotécnicos pré-existentes sobre a área, os quais foram fornecidos pelo Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde (LEC), nomeadamente resultados dos ensaios de penetração dinâmica com penetrómetro ligeiro (PDL), teor em água, granulometria, percentagem de argila, limites de Atterberg, índice de plasticidade, peso específico, expansibilidade e a classificação unificada dos solos.

A recolha de dados georreferenciados envolveu cartas topográficas e geológicas de 1973, ortofotomapas e imagens de satélite de 2003, referentes à área de estudo. Um dos elementos fundamentais para a subsequente elaboração da carta litológica na escala 1:10.000, foi a carta topográfica de base, na escala 1:25.000 (Santiago, folha 58), do ano de 1973, publicada pelo Serviço Cartográfico do Exército de Portugal.

Constituiu igualmente fonte essencial do trabalho a carta geológica na escala 1:25.000, do ano de 1973, de autoria de Serralheiro, Macedo e Sousa e publicada pela Junta de Investigações do Ultramar, Laboratório e Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar, a qual serviu de ponto de partida para a cartografia de unidades líticas.

3.2 Critérios descritivos dos materiais vulcânicos

Os processos vulcanogenéticos, responsáveis pela variedade de rochas vulcânicas, situam-se numa abordagem generalista entre o vulcanismo efusivo e o vulcanismo explosivo. A actividade efusiva proporciona a implantação de corpos lávicos (escoadas, domos), depósitos auto-clásticos e formações intrusivas (ou epivulcânicas), que são agulhas, chaminés, diques e soleiras (Azevedo, 1988).

Dado que a maioria dos elementos observados e caracterizados são constituídos por materiais de origem vulcânica, ou resultantes da sua alteração, utilizaram-se critérios adequados para a sua descrição.

Os critérios metodológicos empregues para diferenciar as várias fácies basearam-se nos propostos por Ulbrich *et al.* (2001), que definem as fácies petrográficas como “a unidade litoestratigráfica informal de menor hierarquia, que pode ser reconhecida e descrita, nas amostras de mão e no campo, pelas características mineralógicas, texturais e estruturais”.

A partir desta definição foram consideradas várias fácies petrográficas agrupadas por características de cor, textura e granulometria semelhantes, sendo identificadas por nomenclatura informal, propositadamente coincidentes com os nomes petrográficos vulcânicos adoptados por McPhie *et al.* (1993) e por Nunes (2002).

Passamos agora a apresentar os conceitos destes últimos autores, (*op. cit*), os quais constituíram o referencial de identificação e descrição dos materiais vulcânicos.

3.2.1 Conceitos

As classificações texturais para rochas vulcânicas, baseadas nas nomenclaturas de McPhie *et al.* (1993), incluem: (1) depósitos vulcanoclásticos consolidados; (2) rochas vulcânicas coerentes; (3) agregados vulcanoclásticos inconsolidados.

O desenvolvimento de texturas em depósitos vulcânicos dá-se em três etapas principais:

1. Criação de texturas por processos originados por erupções vulcânicas;
2. Modificação das texturas originais por processos de erupção;
3. Modificação das texturas originais por processos *sin-vulcânicos* (oxidação, desgaseificação, hidratação, devitrificação por alta temperatura, alteração hidrotermal).

De extrema importância na criação de texturas originais em depósitos vulcânicos primários é o estilo de erupção, em especial, o carácter explosivo ou efusivo (figura 3.1).

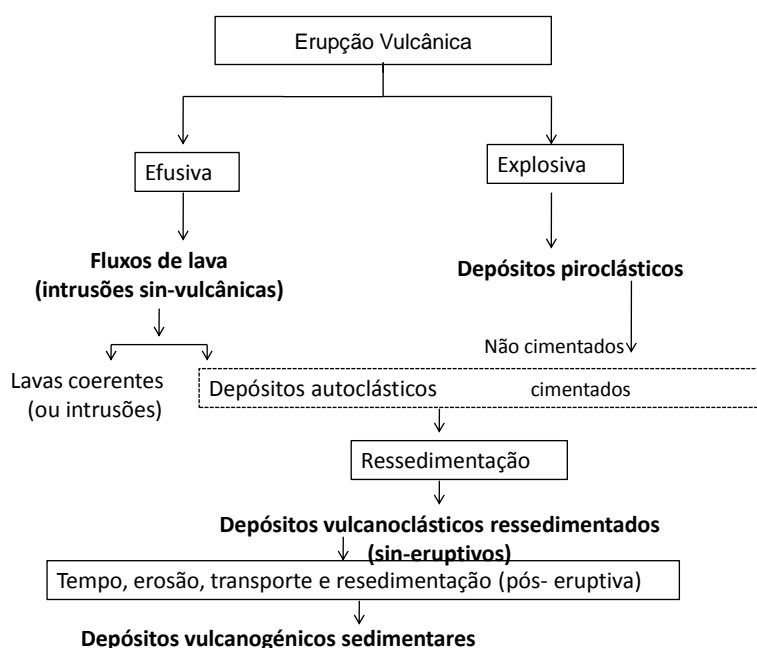


Figura 3.1 - Classificação genética dos depósitos vulcânicos (adaptado de McPhie *et al.* 1993).

Em ilhas vulcânicas activas, com depósitos subaéreos ou submarinos, os diversos depósitos piroclásticos vulcanoclásticos são originados por processos designados por não-vulcânicos, nomeadamente através da ressedimentação e da erosão e do retrabalho dos depósitos vulcânicos pré-existentes. Estes depósitos vulcanoclásticos são muitas vezes referidos como secundários, enquanto os depósitos piroclásticos e autoclásticos são considerados primários.

Os mecanismos de transporte e deposição das partículas são de grande importância na criação das texturas e estruturas originais nos piroclastos, depósitos ressedimentares e vulcanogénicos sedimentares.

As partículas vulcanoclásticas são compostas em parte ou inteiramente por fragmentos vulcânicos, que podem possuir forma e tamanho variado. Os terrenos vulcânicos activos, sejam subaéreos ou submarinos, resultam da combinação de processos vulcânicos primários e processos sedimentares, sendo que ambos possuem potencial para originar diversos depósitos vulcanoclásticos.

Ainda segundo McPhie *et al.* (1993) e (Fisher *et al.* 1984; *in* Azevedo, 1988), as partículas vulcanoclásticas podem ser subdivididas em algumas categorias principais: auto-clásticas, piroclásticas, vulcanoclásticas ressedimentadas e vulcanogénicas, as quais apresentam as seguintes características:

a) Partículas auto-clásticas

São partículas vulcanoclásticas primárias formadas pela fragmentação não explosiva *in situ* de lava ou magma (auto-brecha). Geralmente com forma angulosa, estrutura maciça e hemicristalina.

b) Partículas piroclásticas

São partículas vulcanoclásticas primárias de materiais vulcânicos originados por erupções explosivas e depositadas por processos vulcânicos primários (queda, fluxo e surge) formados numa erupção ou explosão vulcânica. Resultantes de mecanismos de fragmentação explosiva, vesiculação magmática ou explosividade de vapor.

Podem ser encontrados em depósitos piroclásticos três tipos de fragmentos vulcânicos segundo McPhie *et al.* (1993), Orton (1996), Schmidt & Schmincke, (2000), Batiza & White (2000) e Nunes (2002), representados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação de fragmentos vulcânicos encontrados em depósitos piroclásticos.

Depósitos piroclásticos	Dimensões (mm)
Cinzas	≤ 2
Lapilli	2-64
Blocos ou bombas	≥ 64

c) Partículas piroclásticas ressedimentadas

São partículas vulcanoclásticas formadas a partir da rápida ressedimentação de partículas piroclásticas (e menos comumente de partículas auto-clásticas), recém erupcionadas e texturalmente não modificadas. Cada unidade de sedimentação é composicionalmente uniforme e contém uma estreita variação de tipos e composições de fragmentos vulcânicos.

d) Partículas vulcanogénicas

São agregados vulcanoclásticos com partículas resultantes da meteorização e erosão de depósitos vulcânicos pré-existent, sujeitos a retrabalhamento antes da deposição final, e/ou redepositados muito tempo depois da erupção. Os critérios para distinção entre depósitos sedimentares vulcanogénicos e depósitos piroclásticos ressedimentados incluem evidências de retrabalhamento ou transporte significativo antes da deposição e/ou evidências de que a deposição final ocorreu após a erupção.

Os fluxos de lavas são classificados de acordo com a sua aparência em três categorias distintas (Cas & Wright, 1987; Batiza & White, 2000; Schminke, 2004): lavas *pahoehoe*, lavas *aa* e lavas em blocos. Associadas a estas encontram-se lavas em almofada e fluxos de lavas (tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Classificação dos fluxos de lavas (Cas & Wright, 1987).

Fluxos de lavas	% Sílica	Geometria	Espessura	Viscosidade
Lavas pahoehoe	< 50-55	Superfícies lisas quebradas, contínuas dobradas e em cordas, contendo uma crosta vítrea e grandes cavidades preenchidas inicialmente por gases (<i>shelly pahoehoe</i>), pobres em vesículas.	<= 20 cm	baixa
Lavas aa	< 50-55	Superfícies extremamente irregulares, fracturadas, e cobertas por fragmentos irregulares.	<= 20 m	elevada
Lavas em blocos	> 55	Superfícies fracturadas e cobertas por fragmentos vulcânicos.	dezenas de metros	elevada
Lavas em almofadas	sem informação	Corpos de lava arredondados e tubulares interconectados com forma de almofada formados dentro de água e possuindo superfícies vítreas externas estriadas.	sem informação	sem informação
Fontes de Lavas	sem informação	Coluna de erupção típica de erupções havaianas, mas também observada em erupções estrombolianas, no qual jactos de magma são ejectados quase que continuamente através da conduta.	dezenas a centenas de metros, às vezes atingindo mais de 1.000 m.	baixa

Apresenta-se seguidamente um resumo das características texturais que permitem distinguir os depósitos vulcânicos (McPhie *et al.* 1993):

1) Lavas e intrusões *sin-vulcânicas*

Ocorrem vários tipos de fácies. A fácies coerente é originada em altas temperaturas; apresenta textura porfírica (cristais euédricos uniformemente distribuídos) ou afanítica devitrificada em massas (esferolítica, litofásica, micropoilitica); apresentam estrutura maciça ou foliada, não vesicular ou vesicular, pomítica, escoriácea. A fácies auto-clástica tem textura monomictica e clastos com textura porfírica ou afanítica, com predominância da textura *jigsaw-fit* (em puzzle).

A auto-brecha geralmente apresenta clastos angulosos, irregulares ou em blocos, estrutura maciça ou foliada, clastos pumíticos ou escoriáceos; baixa proporção de fragmentos finos com menos de 2 mm e raros fragmentos de cristais. A brecha hialoclastítica tem clastos com superfícies curvilineares; as margens dos clastos têm (ou tiveram) massa vítrea, sendo o interior dos clastos vítreo ou cristalino com minúsculas articulações normais ao longo das margens dos clastos. A fracção arenosa é muito grosseira com dimensão 1-4 mm. A matriz pode ser abundante e, os clastos pumíticos ou escoriáceos serem frequentes.

2) Depósitos piroclásticos

Originados por magmatismo explosivo com abundantes vesículas e vidro na matriz, apresentando clastos pumíticos ou escoriáceos geralmente com margens finas ou ásperas e blocos com formas lenticulares; ocorrem lapilli acrecionados, cimentados ou não cimentados.

3) Depósitos vulcanoclásticos ressedimentados (sin-eruptivos)

São dominados por clastos texturalmente inalterados, com escassa diversidade de clastos; as unidades ou sucessões de sedimentação são composicionalmente uniformes ou demonstram mudanças sistemáticas indicando os depósitos de fluxo de massa deposição rápida.

4) Depósitos vulcanogénicos sedimentares

São misturas de fragmentos vulcânicos e não-vulcânicos; os clastos vulcânicos apresentam diferentes composições e tendencialmente forma arredondada, com moderada a boa classificação (de acordo com a densidade dos clastos), sendo dominantes formas de leito de corrente de tracção.

3.2.2 Descrição de lavas coerentes e intrusões *sin-vulcânicas*

O objectivo deste subcapítulo é o de apresentar designações informativas, simplificadas; utilizando terminologias normalizadas e integrar (sempre que possível) informações, sobre composição, litofácies, textura e alteração (tabela 3.3).

A descrição considerada pode não incluir todos os termos quando a informação não estiver disponível, mas deve sempre conter, no mínimo a composição e um dos restantes termos.

Tabela 3.3 - Classificação para lavas coerentes e intrusões *sin-vulcânicas* (McPhie *et al.* 1993).

Composição	Baseada na associação dos fenocristais; <i>e.g</i> Basalto: piroxena+plagiocase rica em Ca± olivina.
	Para amostras afaníticas, a composição é baseada na cor; <i>e.g</i> basalto cinzento-escuro.
Litofácies	Maciça, foliada, bandada ou laminada, colunar, colunar-radial, concêntrica.
	<i>Tortoise-shell</i> , blocos, prismática, rolos (<i>pillow-lavas</i>) ou pseudo-rolos (<i>pseudo-pillows</i>).
Textura	Porfírica – fenocristais: tipo (quartzo-porfírico, piroxena porfírica, etc.), abundância (baixa, moderada, alta); dimensão: (fino <1 mm, médio 1-5 mm, grosseiro >=5mm), cimento: vítrea, criptocristalina, microcristalina, grão muito fino.
	Afanítica: uniformemente microcristalina.
	Afírica: não tem cristais presentes.
	Vítrea: composta por vidro vulcânico.
	Não vesicular ou vesicular (ou amigdalóide), pomítica, escoriácea.
	Esferolítica, micro-esferolítica, <i>lithophysae-bearing</i> .
Alteração	Mineralogia: clorite, sericite, sílica, pirite, carbonatos, feldspato, hematite.
	Distribuição: disseminada, nodular, local, penetrante, desigual.

No âmbito deste trabalho para a descrição dos termos líticos (rochas coerentes e intrusões) foram utilizadas as combinações litofácies, composição ou textura e composição, dados serem as que melhor permitiam a sua diferenciação.

3.2.3 Descrição de depósitos vulcanoclásticos

A descrição ideal combina informação sobre dimensão do grão, tipo de elementos, tipo de litofácies e alteração. Assim, para a descrição dos depósitos considerou-se a descrição sobre a dimensão do grão e pelo menos um dos restantes termos (Batiza & White, 2000; McPhie *et al.* 1993). Nas tabelas 3.4 e 3.5 apresentam-se os diferentes tipos de classificações para materiais vulcânicos e não vulcânicos.

Tabela 3.4 - Classificação para diferentes tipos de depósitos vulcanoclásticos, vulcanogénicos sedimentares, autoclásticos e autoclásticos ressedimentados (McPhie *et al.* 1993).

Dimensão do Grão (mm)	Depósitos vulcanoclásticos e depósitos vulcanogénicos sedimentares	Depósitos autoclásticos			Depósitos autoclásticos ressedimentados
		Hialoclastito	Auto-brecha	Mistura ou origem incerta	
< 1/16	Argilito vulcânico	Hialoclastito fino		Argilito auto-clástico	Hialoclastito fino ressedimentado Argilito auto-clástico ressedimentado
1/16-2	Arenito vulcânico	Arenito hialoclastítico		Arenito auto-clástico	Arenito hialoclastítica ressedimentado Areia auto-clástica ressedimentadas
2-4	Conglomerado ou brecha vulcânica	Hialoclastito granular	Auto-brecha granular	Brecha auto-clástica granular	Hialoclastito granular ressedimentado Auto-brecha granular ressedimentadas Brecha auto-clástica granular ressedimentadas
4-64		Brecha hialoclastítica	Auto-brecha	Brecha auto-clástica	Brecha hialoclastítica ressedimentadas Auto-brecha ressedimentadas Brecha auto-clástica ressedimentadas
>>6		Brecha hialoclastítica grosseira	Auto-brecha grosseira	Brecha auto-clástica grosseira	Brecha hialoclastítica grosseira ressedimentadas Auto-brecha grosseira ressedimentadas Brecha auto-clástica grosseira ressedimentadas

Tabela 3.5 - Classificação para depósitos piroclásticos e depósitos ricos em piroclastos (McPhie *et al.* 1993).

Dimensão do Grão (mm)	Depósitos Piroclásticos		Depósitos ricos em Piroclastos	
	Piroclastos consolidados	Rochas piroclásticas consolidadas	<i>Sin</i> -eruptivo ressedimentado	Pós-eruptivo ressedimentado ou retrabalhado ou de origem incerta
< 1/16	Cinza fina	Tufo fino	Argilito ressedimentado rico em cinzas	Argilito tufáceo
1/16-2	Cinza grosseira	Tufo grosseiro	Arenito ressedimentado rico em cinzas	Arenito tufáceo
2-64	Tefra lapilli	Tufo – lapilli ou tufo - brecha	Lapilli ressedimentado rico em piroclastos Lapilli ressedimentado pomítico Lapilli ressedimentado pomítico e lítico	Conglomerado tufáceo Brecha tufácea
>64	Tefra bomba e tefra bloco	Conglomerado brecha piroclástica	Brecha ressedimentadas rica em piroclastos Brecha pomítica ressedimentadas Brecha pomítica e lítica ressedimentadas	Sem informação

Na cartografia e representação dos perfis esquemáticos foram incluídos um conjunto de conceitos relativos às relações geométricas e estruturais dos corpos líticos. De acordo com AGI (1962) e Chicarro *et al.* (1957) esses são:

- Descontinuidade: ocorre quando existe um intervalo de tempo considerável entre a formação de duas unidades sucessivas.
- Discordância (desconformidade): falta de correspondência ou conformidade entre as camadas de rochas, horizontais, inclinadas ou verticais, diferindo as suas inclinações. A discordância angular testemunha que houve movimentos epirogênicos, forte erosão, emersão, etc.
- Paraconformidade: não há diferença de atitude entre unidades sobrepostas ainda que, às vezes, faltem diversos conjuntos líticos; representando um hiato temporal significativo.
- Superfície de erosão: superfície moldada pela acção dos agentes da geodinâmica externa.

3.3 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo desenvolveram-se por diferentes períodos ao longo dos anos 2007-2011. Estes trabalhos tiveram três objectivos principais: (1) a observação dos materiais geológicos e das suas relações espaciais, os quais permitiram a caracterização das unidades litológicas e a representação de perfis esquemáticos; (2) a realização de

ensaios *in situ* para caracterização das unidades litológicas; (3) a amostragem e recolha de materiais rochosos e de solos para ulterior caracterização laboratorial.

Os trabalhos de campos foram ainda essenciais para a caracterização física da área, nomeadamente de parâmetros como a tectónica e os elementos estruturais maiores, a morfologia, a hidrografia, assim como os processos de geodinâmica externa. Os trabalhos permitiram reconhecer elementos da ocupação e uso do solo, como as áreas agrícolas, as áreas com vegetação arbustiva e com rocha nua, as áreas urbanas, as infra-estruturas hidráulicas e as vias, possibilitando estabelecer relações entre a ocupação antrópica e os parâmetros físicos.

Para auxílio dos trabalhos de campo foram utilizadas a carta topográfica de base, na escala 1:25.000 (Santiago, folha 58), do ano de 1973, publicada pelo Serviço Cartográfico do Exército de Portugal e a carta geológica na escala 1:25.000 (Santiago, folha 58), do ano de 1973, de autoria de Serralheiro, Macedo & Sousa e publicada por Junta de Investigações do Ultramar, Laboratório e Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar, bem como ainda ortofotomapas da empresa Municipia, disponibilizados pela Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU) de Cabo Verde, do ano de 2003. Nos trabalhos de campo utilizaram-se ainda um aparelho de GPS - Garmin Etrex, um martelo e bússola de geólogo.

Os estudos de campo compreenderam a verificação das características estruturais e estratigráficas dos afloramentos, a descrição das características texturais, petrográficas, de alteração e resistência dos afloramentos rochosos e de solos. Para esta descrição recorreu-se à metodologia proposta pela IAEG (1981a,b), Vallejo *et al.* (2002) e Ferrer & Vallejo (2007), nomeadamente incidindo nos seguintes aspectos (tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Aspectos descritivos dos afloramentos (Ferrer & Vallejo, 2007).

Natureza litológica e composição	Cor, petrografia, textura
	Minerais: constituintes e dimensões médias e dos maiores
	Matriz: natureza e representação (%)
	Cimento: natureza e representação (%)
	Elementos (grãos, calhaus, clastos): natureza e representação (%)
	Filões: cor, natureza, textura
Estrutura litológica	Disjunção/estrutura: colunar, prismática, esferoidal, camadas ou lajes
	Blocometria e forma dos blocos ou camadas
	Descontinuidades: abertura, espaçamento e orientação das principais famílias
	Atitude e espessura
	Corpos intrusivos (e.g filões): orientação e espessura
Condicionantes do estado <i>in situ</i>	Estado de alteração dos corpos (e minerais secundários)
	Resistência à percussão

A análise e caracterização das diferentes unidades líticas baseia-se nos pressupostos da classificação litológica para rochas para engenharia segundo IAEG

(1981b), ou complementadas com as classificações de rochas vulcânicas de diferentes autores, nomeadamente Tavares (1999), Vallejo *et al.* (2006) e Ferrer & Vallejo (2007).

A descrição das unidades litológicas é constituída pelos seguintes parâmetros:

- a) Avaliação da expressão cartográfica, com identificação dos aspectos topográficos característicos;
- b) Avaliação da espessura;
- c) Identificação das unidades geológicas equivalentes;
- d) Caracterização da natureza litológica;
- e) Observação da estrutura litológica;
- f) Avaliação das características *in situ*, realçando as variações espaciais e locais, com saliência para a resposta a percussão, resistência à compressão simples, alteração superficial e distribuição de planos de diaclasamento.

A definição de volumes com características homogéneas (IAEG, 1981b) baseou-se nas descrições de campo, referidas no item anterior, tendo em conta os seguintes aspectos: petrografia, cor dos materiais, granulometria, natureza e % dos clastos, textura, resistência à percussão, blocometria e espessura dos blocos e filões, características das descontinuidades, bem como a atitude da formação geológica. Posteriormente a esta classificação, realizaram-se ensaios geotécnicos, geomecânicos e geoquímicos.

A caracterização estrutural dos maciços rochosos baseou-se nos pressupostos e classificações propostos pela IAEG (1981b) e ISRM (1981).

Para a caracterização e quantificação dos factores de natureza lítica, utilizou-se como escala de observação e amostragem um conjunto de perfis representativos, sendo a localização dos mesmos referenciados em coordenadas UTM tendo sido posteriormente projectados em SIG no sistema Lambert (figura 3.2). Em todas as estações foram realizados ensaios com o esclerómetro para determinação do índice de *Schmidt*.

Os critérios mínimos adoptados para a área de representação cartográfica superficial levaram a considerar apenas os corpos com pelo menos 2,5 m de espessura média em afloramento. Para a descrição das unidades líticas considerou-se uma espessura mínima de 1 m para unidades de substrato e 40 cm para unidades superficiais, no sentido diferenciar as duas categorias de unidades.

Com o objectivo de descrever os perfis estratigráficos, foram seleccionadas 32 estações de observação (tabela 3.7). Todos os locais e amostras foram georreferenciados para representação cartográfica.

Tabela 3.7 - Estações de observação e amostragem de campo.

Estação	Local de Observação e Amostragem	Estação	Local de Observação e Amostragem
F1	Chã de Areia	F12C	N do Monte Saco
F2	Prainha	F13	Trindade
F3	Quebra-Canela	F14A	Pensamento
F4	Ribeira do Palmarejo Pequeno	F14B	Pensamento
F5	Achada de Baixo	F15	Laranjo
F6	Cova Minhoto	F16	Achada de São Felipe Leste
F7A	Achada Furada	F17	Achada de São Felipe Oeste
F7B	Achada Furada	F18	Safende
F8	Oeste de Cova Figueira	F19	Bela Vista
F9A	Monte Vermelho	F20	Plateau "Quartel Escola – Policia"
F9B	Monte Vermelho/Achada Furada	F21	Monte Pensamento
F9C	Monte Vermelho	F22A	Chão de Lemão
F10	Monte Babosa	F22B	Chão de Lemão
F11	Ponta Preta	F23	Simão Ribeiro
F12A	NE do Monte Saco	F24	Cova Figueira
F12B	NE do Monte Saco	F25	Sul do Monte Ilhéu

3.4 Amostragem para ensaios laboratoriais

A campanha de amostragem dos materiais pétreos, para ulterior caracterização laboratorial, foi acompanhada por técnicos do Laboratório de Engenharia de Cabo Verde (LEC), e direccionada às rochas basálticas, fonolíticas, gabro-sieníticas, carbonatíticas e sedimentares. Ao todo foram amostradas 32 estações, que correspondem a locais representativos das unidades litológicas na área de estudo, os quais são representados na figura 3.2.

Para a amostragem dos materiais rochosos e dos solos utilizaram-se as especificações E-218 do LNEC (*in* Correia, 1980), aplicada em Cabo Verde (LEC) e, em alternativa o Eurocódigo 7 (1999).

Na sequência dos diferentes trabalhos de campo, iniciaram-se os trabalhos de gabinete visando a construção da carta de unidades litológicas. Os elementos cartográficos foram integrados em SIG com recurso ao software ArcGIS, utilizando o sistema de projecção Lambert e coordenadas WGS84. A carta litológica foi produzida à escala 1/10.000, a partir da carta topográfica do Instituto Geográfico do Exército Português, de 1973, na escala 1/25.000 e está reproduzida na figura 3.2.

3.5 Trabalhos de gabinete para elaboração da carta litológica

Como apoio a este trabalho, foram utilizados ortofotomapas nas escalas de 1:15.000, do ano de 2003, obtidos pela empresa Municipia (Portugal) e imagens do satélite TERRA. Nesta etapa foram utilizados o software ArcGIS 9.3 (ESRI) e ERDAS ER Mapper 7.2.

Para apoio à elaboração da cartografia de unidades litológicas recorreu-se ao software ARCGIS (ArcMap versão 9.3) da ESRI, tendo por escala de referência de representação 1/10.000, uma vez que nesta escala é possível compatibilizar os critérios mínimos de representação assumidos neste trabalho e ainda obter-se informação essencialmente qualitativa com classificações gerais, zonas problemáticas, aptidão do terreno para diversos usos do solo (IAEG, 1976).

Os pontos de amostragem e atributos foram integrados também em SIG, tendo em conta a localização obtida no equipamento GPS Garmin Etrex, em que os pontos recolhidos no sistema de projecção UTM, datum WGS 84, foram transformados em ARCGIS 9.3 para o sistema de projecção Lambert, datum WGS 84.

3.6 Ensaios *in situ*

Com o objectivo de estudar as propriedades e comportamento mecânico dos materiais rochosos e brandos, e a sua resposta face à acção de forças aplicadas no seu meio físico (Vallejo *et al.* 2002), foram realizados ensaios *in situ*.

Nesta análise foram realizados os ensaios de percussão ao martelo e o índice de *Schmidt*, a par de uma caracterização do estado de alteração do maciço e das características das descontinuidades.

Carta Litológica
Praia, Santiago (Cabo Verde)

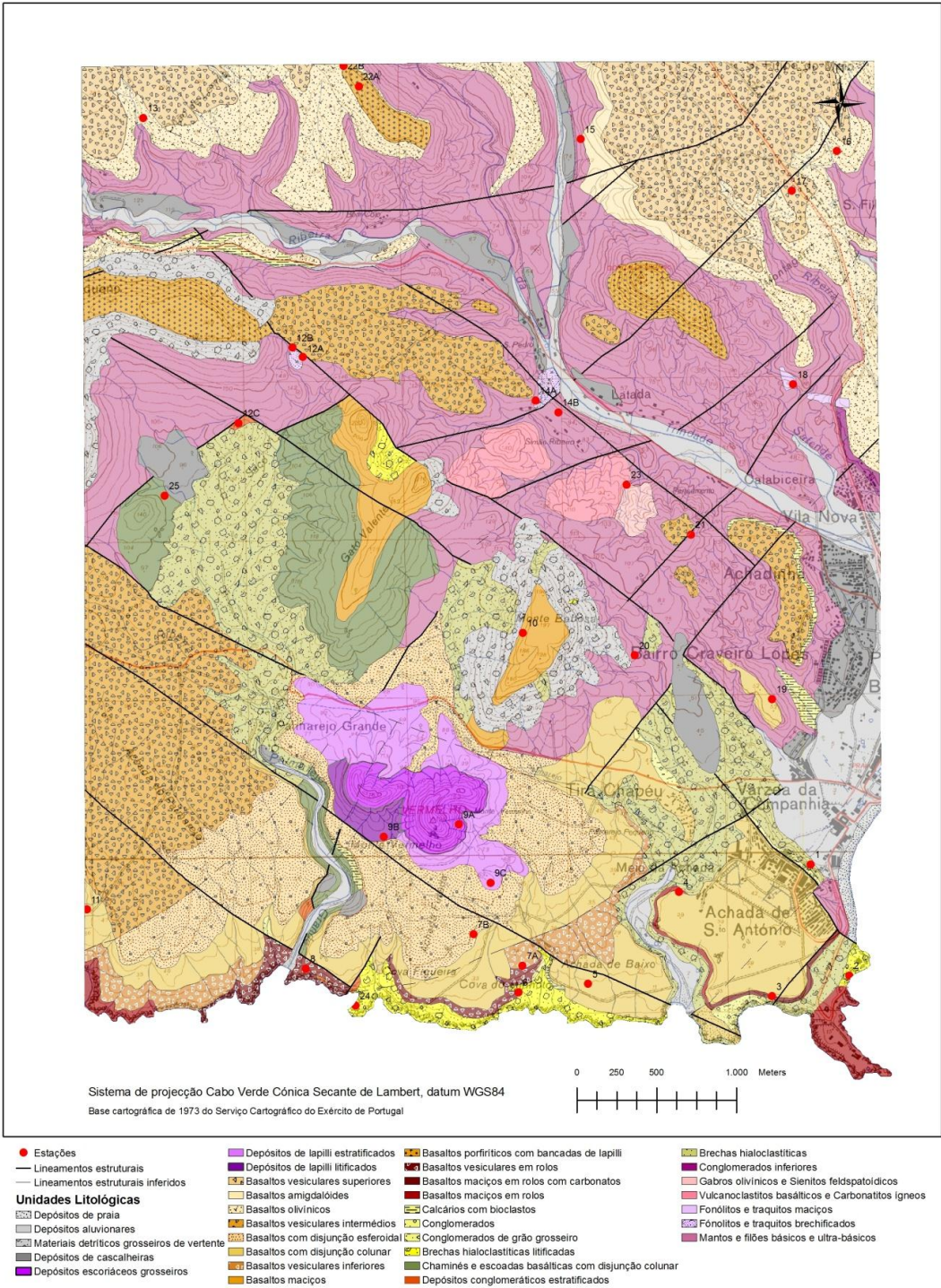


Figura 3.2 - Projecção dos locais de amostragem (estações - perfis).

3.6.1 Estado de alteração

A alteração compreende processos de meteorização física e química, que conduzem à modificação dos materiais rochosos em função do tipo de rocha, clima e geomorfologia (Anon, 1995; Duarte *et al.* 2004).

É muito comum o uso de classificações segundo o grau de rigidez ou de coerência das rochas. A avaliação do estado de alteração baseia-se nas classificações descritas para rochas e solos pela IAEG (1981b), ISRM (1978), descritos pelos autores Tavares (1999), Pinho (2003), Costa (2006) e Ferrer & Vallejo (2007), definido em cinco graus identificados conforme a tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Grau de alteração das rochas.

Símbolos	Designações	Características
W1	Fresco ou são	A rocha não apresenta quaisquer sinais de alteração.
W2	Pouco alterado	Sinais de alteração apenas nos planos e nos bordos das descontinuidades.
W3	Moderadamente alterado	Alteração visível em todo o maciço rochoso (mudança de cor) mas a rocha não é friável (não se desagrega em contacto com a água).
W4	Muito alterado	Alteração visível em todo o maciço e a rocha é parcialmente friável.
W5	Completamente alterado ou solo residual	O maciço apresenta-se totalmente friável.

3.6.2 Estudo do maciço rochoso e das descontinuidades

O estudo das rochas (realizado no âmbito da geologia), e estudo dos maciços rochosos tem como finalidade conhecer e prever o comportamento dos maciços rochosos face à actuação das solicitações (internas e externas) que sobre eles se exercem (Costa, 2006). Um maciço rochoso pode ser concebido como uma entidade constituída por duas parcelas, a matriz rochosa e as descontinuidades que o compartimentam.

As superfícies de descontinuidade existentes nas rochas e nos maciços rochosos são extremamente importantes, uma vez que, geralmente, dão lugar a variações bruscas de propriedades físicas (Bieniawski, 1974, 1979; Pinho, 2003) Estas descontinuidades podem ser micro-fissuras intra-granulares de cristais, contactos inter-granulares de cristais, fissuras na matriz rochosa, planos de xistosidade, descontinuidades, juntas de sedimentação, filões e falhas (Rocha, 1977).

Os maciços rochosos podem ser considerados homogéneos quanto à compartimentação, quando as atitudes médias das suas famílias de fracturas e as correspondentes densidades máximas de compartimentação são aproximadamente constantes ao longo do mesmo. De acordo com vários autores, as descontinuidades que compartimentam o maciço rochoso devem ser estudadas utilizando os métodos sugeridos pela IAEG (1981b), ISRM (1981), Vallejo *et al.* (2002) e Ferrer & Vallejo (2007).

Assim, para a classificação da espessura dos estratos utilizou-se o sistema referido na tabela 3.9, de acordo com ISRM (1981), Tavares (1999) e Costa (2006).

Tabela 3.9 - Classificação da espessura dos estratos (L).

Intervalo (cm)	Símbolo		Descrição	
>200	L1	L1,2	Muito espesso	Espesso
60-200	L2		Espesso	
20-60	L3	L3	Moderado	Moderado
6-20	L4	L4,5	Pouco espesso	Pouco espesso
<6	L5		Muito pouco espesso	

A quantificação do espaçamento entre planos de diaclasamento, independentemente da disposição estrutural, fez-se de acordo com a IAEG (1981a), tendo-se utilizado para a classificação os parâmetros expostos na tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Classificação do espaçamento entre planos de diaclasamento (E).

Intervalo (cm)	Símbolo		Descrição	
>200	E1	E1,2	Muito amplo	Amplo
60-200	E2		Amplo	
20-60	E3	E3	Moderado	Moderado
6-20	E4	E4,5	Próximo	Próximo
<6	E5		Muito próximo	

3.6.3 Esclerómetro (martelo de Schmidt)

O princípio de aplicação deste equipamento tem como base a aplicação de uma pancada através de uma massa de aço numa superfície de rocha, a qual reage, sendo essa reacção proporcional à sua dureza. Esta dureza é representada pelo valor do “ressalto” R, o qual é correlacionável (Aydin & Basu, 2005) com a resistência à compressão simples (tabela 3.11; Ferrer & Vallejo, 2007) e com o módulo de elasticidade do material ensaiado (Deere & Miller, 1966), sendo aplicável a rochas vulcânicas (Petro & Hurlimann, 2009). É possível verificar segundo alguns autores, uma relação entre o grau de alteração da rocha, e o valor do ressaltado do martelo de Schmidt (Aggitalis *et al.* 1996; Hutchinson, 1997).

Este índice permite estimar a resistência das rochas (Conde *et al.* 2004) e o módulo de elasticidade de forma rápida e expedita (Andrade, 2004); sendo um método não destrutivo, embora pouco preciso quando utilizado fora da gama de rochas com resistência entre 20-150 MPa. Este ressaltado é registado numa escala existente no martelo, que pode ir de 10 a 100 e com uma energia de impacto a variar entre 0.73 a 2.207 Nm (Petro & Hurlimann, 2009).

Para a caracterização foram realizados ensaios para determinação do índice de *Schmidt* em todas as 32 estações de estudo, num total de 83 áreas amostras. Na execução dos ensaios *in situ* com o martelo de *Schmidt* adoptaram-se as recomendações da Soiltest (1978), ISRM (1981) e ASTM (2001).

O modelo do equipamento usado neste trabalho foi o Sclerometro concrete hammer mod. 58 – CO181, do tipo N e pode fornecer dados de uma grande variedade de tipos de rochas, desde tipos, com a resistência à compressão que varia entre 20-250 MPa (Viles *et al.* 2010).

Tabela 3.11 - Correlação entre o índice de *Schmidt*, a compressão simples e a análise expedita (Ferrer & Vallejo, 2007).

Grau	Designação	σ_c (Mpa)	$Is_{(50)}$ (Mpa)	Análise expedita
R6	Extremamente elevada	>250	>10	A rocha lasca depois de sucessivos golpes de martelo e ressoa quando batida.
R5	Muito elevada	100-250	4-10	Requer muitos golpes de martelo para partir espécimes intactos de rocha.
R4	Elevada	50-100	2-4	Pedaços pequenos de rocha seguros com a mão são partidos com um único golpe de martelo.
R3	Mediana	25-50	1-2	Um golpe firme com o pico do martelo de geólogo faz identações até 5 mm; com a faca consegue-se raspar a superfície.
R2	Baixa	5-25	(*)	Com a faca é possível cortar o material, mas esta é demasiado duro para lhe dar a forma de proveto para ensaio triaxial.
R1	Muito baixa	1-5	(*)	O material desagrega-se com golpe firme do pico de martelo de geólogo.
R0	Extremamente baixa	0,25-1	(*)	Consegue-se marcar com a unha.

(*) - Não são consideradas minimamente fiáveis as correlações com a resistência a compressão simples

A resistência à compressão (σ_c) e o módulo de elasticidade (E) podem obter-se a partir dos ábacos que se apresentam na figura 3.3, entrando com o valor de R dado pelo martelo de *Schmidt* (tipo L) e com o valor da densidade da rocha ensaiada (Yilmaz & Sendir, 2002).

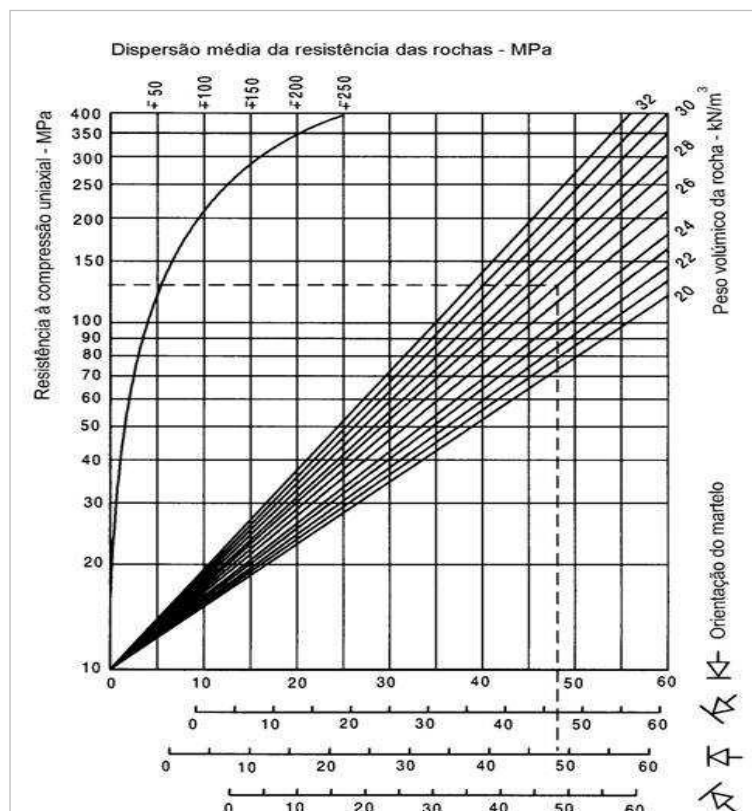


Figura 3.3 – Ábacos que correlacionam o valor da dureza de Schmidt (R) com a resistência à compressão e módulo de elasticidade da rocha (módulo de Young).

3.7 Ensaios laboratoriais em materiais desagregados

3.7.1 Análise granulométrica

Define-se análise granulométrica como a distribuição em percentagem ponderal das dimensões das partículas de um material geológico. Nas amostras ensaiadas utilizou-se a análise granulométrica por via húmida.

Foram tratadas 67 amostras de solos representativos da maioria das unidades litológicas identificadas. As amostras foram processadas em peneiros com malhas de diferentes dimensões, de acordo com o LNEC (1970), Especificação E-239.

A fracção fina foi peneirada entre 63 μm e 2000 μm e a fracção grosseira acima de 2000 μm . Em paralelo efectuou-se a sedimentação da fracção fina. Recorreu-se ao peneiro ASTM nº10 para fazer a prévia separação entre a fracção fina e a grosseira.

Em cada caso, tomou-se cerca de 1 kg de amostra, previamente desagregada. Para a sedimentação, tomou-se cerca de 50 ou 100 g de material (consoante a percentagem de finos), passado no peneiro ASTM nº10 (2,00 mm), após determinação da sua percentagem. A preparação da amostra foi realizada conforme a especificação do LNEC E-196 (*in* Correia, 1980).

3.7.2 Limites de consistência ou de Atterberg

No caso de solos constituídos essencialmente por silte e argila (solos finos), a variação do teor de água pode conduzir a diferentes estados desses solos (Correia, 1980). Assim, um solo argiloso com baixo teor de água não será moldável; mas se entretanto adicionarmos água, passa para um estado semi-sólido e se se continuar a adicionar água, será possível a moldagem – estado plástico; e se ainda continuarmos a adicionar água, o solo torna-se pastoso – estado líquido.

A determinação de limites convencionais, a que correspondem um comportamento plástico, Limite de Liquidez (LL) e Limite de plasticidade (LP), fez-se de acordo com as normas NP-143 (1969) e E-233 do LNEC (1970) (*in* Correia, 1980) para a separação granulométrica da fracção <0,042 mm, pelo peneiro ASTM nº40. O índice de Plasticidade (IP) traduz a amplitude do intervalo de teores de humidade (%) em que se verifica o comportamento plástico (Vallejo *et al.* 2002; Rodrigues, 2007).

3.7.2.1 Limite de Liquidez (LL) pela concha de Casagrande

O limite de liquidez de uma amostra de solo passado no peneiro ASTM nº40 corresponde ao valor do teor em água equivalente a 25 pancadas na Concha de Casagrande. Este valor obtém-se por interpolação na recta que relaciona o teor em água de cada um dos provetes de amostra utilizados com o número de pancadas ou golpes do ensaio correspondente (figura 3.4).

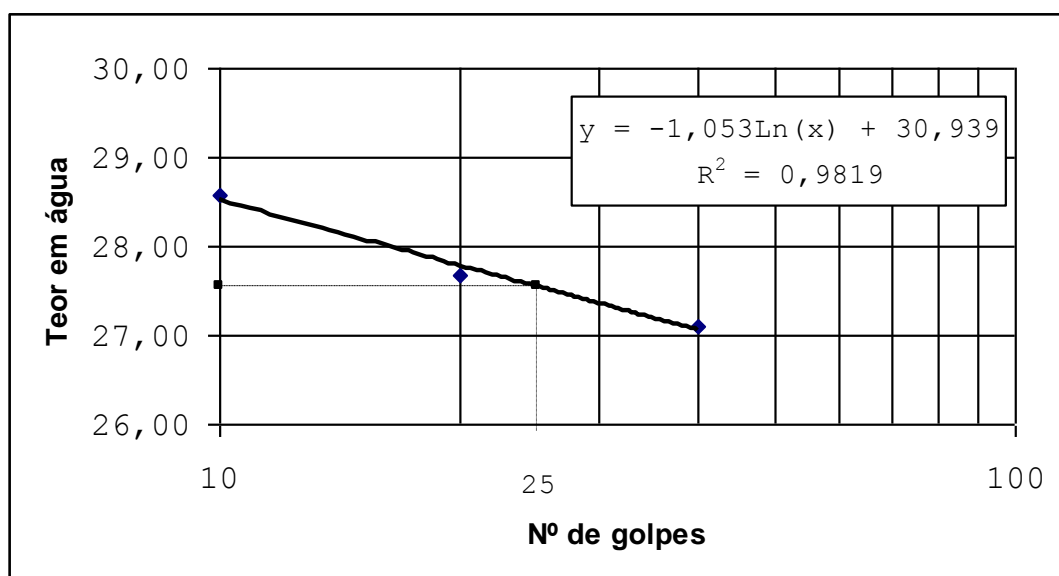


Figura 3.4 - Interpolação do teor em água com o nº de golpes.

3.7.2.2 Limite de Plasticidade (LP)

O limite de plasticidade de um solo corresponde ao teor em água com que esse mesmo solo rompe quando se pretende fazer um filamento cilíndrico com cerca de 3mm de diâmetro. Para o ensaio utilizaram-se quatro provetes de cada amostra, sendo a média dos valores do teor em água de cada um o valor de limite de plasticidade para cada amostra. O resultado deste ensaio vem expresso em percentagem e apresenta-se arredondado às unidades.

3.7.2.3 Índice de Plasticidade (IP)

O índice de plasticidade (IP) corresponde à diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP) de um solo:

$$IP = LL - LP \quad (3.1)$$

As classificações de Plasticidade, com base nestes parâmetros, de acordo com a IAEG (1981b), são representadas na seguinte tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Descrição da plasticidade do solo e descrição do solo.

Limite de Liquidez (LL) (%)	Descrição da Plasticidade do solo	Índice de Plasticidade (IP)	Descrição do Solo
<35	Baixa	<1	Não Plástico
35-50	Intermédia	1-5	Pouco Plástico
50-70	Elevada	5-15	Moderadamente Plástico
70-90	Muito Elevada	15-30	Muito Plástico
>90	Extremamente Elevada	>30	Extremamente Plástico

3.7.3 Expansibilidade

A expansão da água provoca variações de volume nos solos, na dependência da percentagem e composição da fracção argilosa. De acordo com a Especificação do LNEC E-200 (1967b), e tendo em conta as recomendações de ISRM (1979), determinou-se a variação percentual de volume, para um tempo finito, da fracção do solo passada no peneiro ASTM nº 40.

A classificação de USBR (Hunt, 1986; *in* Tavares, 1999) e em Vallejo *et al.* (2002), com base no valor percentual de expansibilidade, é apresentada na tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Classificação de USBR com base no valor percentual de expansibilidade.

Valor da Expansibilidade (%)	Descrição
>30	Muito alta
20-30	Alta
10-20	Média
<10	Baixa

3.7.4 Teor de humidade

O teor de humidade (w) é a razão entre o peso da água (w_w) e o peso das partículas sólidas (w_s) de um solo ou rocha. A determinação do teor de humidade realizou-se com base nos procedimentos que constam na Norma Portuguesa NP-84 (1965) e é representado pela seguinte expressão:

$$w(\%) = (w_w/w_s) \times 100 \quad (3.2)$$

3.7.5 Classificações unificada e textural

Para comparar os resultados dos ensaios geotécnicos, acima descritos, nomeadamente a análise granulométrica e os limites de Atterberg, recorreu-se também à Classificação Unificada definida pela ASTM (1985) e similarmente descrita por autores como Correia, (1980, 1988); Lambe & Whitman (1981) e Vallejo *et al.* (2002).

De acordo com as recomendações da ASTM, calcula-se o Coeficiente de Curvatura (Cc) que está relacionado com a forma da curva granulométrica:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (3.3)$$

Em que D60, D30 e D10 são diâmetros equivalentes que correspondem a 60%, 30% e 10%, respectivamente, de material de dimensões inferiores (Correia, 1980).

O Coeficiente de Uniformidade (Cu) que nos dá uma ideia permite avaliar a diversidade granulométrica.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.4)$$

A Classificação Unificada destina-se a obras de engenharia e tem como objectivo orientar a utilização dos solos como materiais de aterro (aterros para barragens de terra, aeródromos, estradas, etc; figura 3.5).

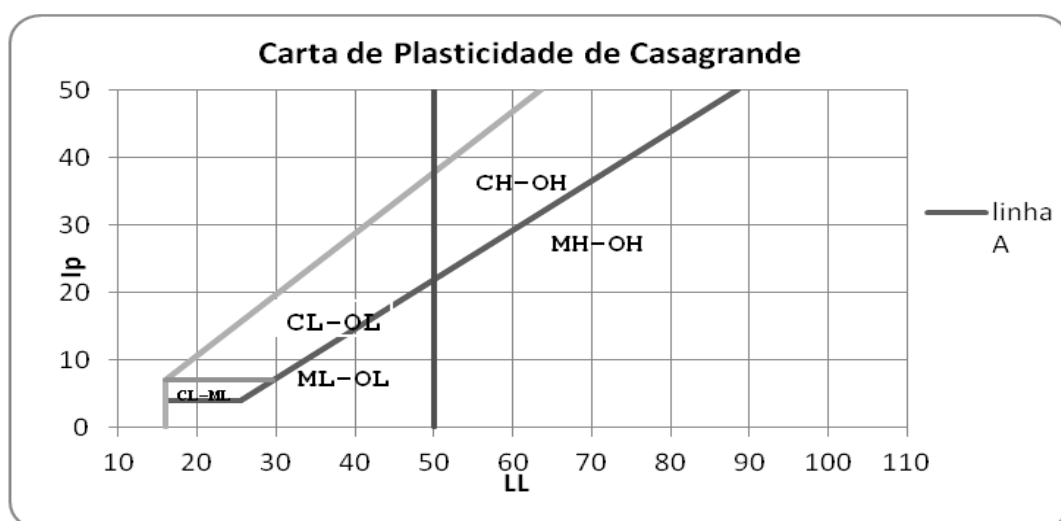


Figura 3.5 - Carta de plasticidade de Casagrande para a Classificação Unificada.

A Classificação para Fins Rodoviários - AASHTO, tem por objectivo o fornecimento de informações sobre o comportamento dos materiais no pavimento (Figura 3.6).

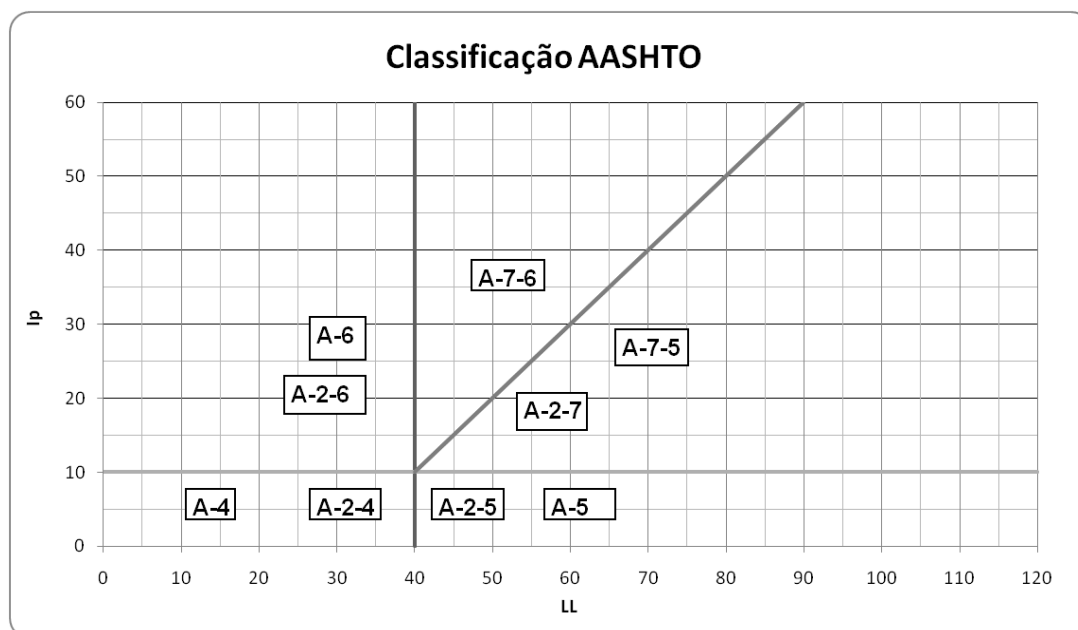


Figura 3.6 - Classificação AASTHO, em função dos limites de liquidez (LL) e do índice de Plasticidade (IP).

A Classificação Textural (figura 3.7) permite através de um diagrama triangular ou trilinear a classificação dos solos, considerando as percentagens das fracções de areia, silte e argila obtidas por ensaios granulométricos. São empregues na classificação de solos em engenharia rodoviária (LNEC, 1968; Fernandes, 1995; Pires, 2007).

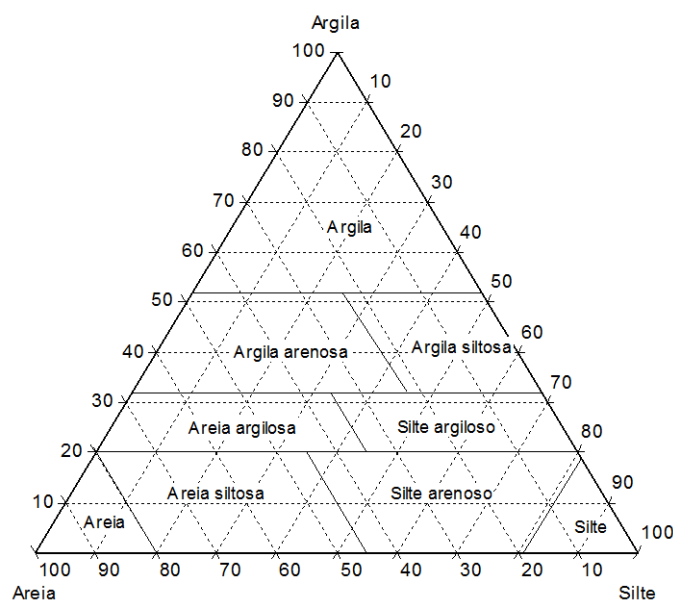


Figura 3.7 - Classificação de solos para fins rodoviários (textural).

Organizam-se assim os resultados segundo classificações amplamente divulgadas indicando-se simultaneamente intervalos de referência do comportamento dos materiais para trabalhos de engenharia.

3.7.6 Peso específico

O peso específico das partículas é um parâmetro que serve para determinar a concentração relativa de sólidos e água (Saito, 1981). São expectáveis valores na ordem de 25 a 27 kN/m³; em alguns solos vulcânicos com minerais de ferro podem ser alcançados valores de 30-31 kN/m³ (Vallejo *et al.* 2002).

Para determinar o peso volúmico dos grãos, utilizou-se o material previamente seco na estufa, e após desagregação e passagem no peneiro ASTM nº4, de acordo com a Norma Portuguesa NP-83-1965.

O peso volúmico das partículas (G) sólidas define-se como a razão entre o peso destas numa dada amostra de solo e o respectivo volume, sendo determinado pela seguinte relação (Rodrigues, 2007):

$$G = \gamma_w [G_1/(G_1+G_2-G_3)] \quad (3.5)$$

Em que γ_w é o peso específico da água à temperatura t do ensaio; G_1 é o peso da amostra; G_2 , peso do picnómetro contendo água destilada e G_3 , peso do picnómetro contendo a amostra e água destilada à temperatura t (Correia, 1980).

A partir dos valores de peso específico é possível estabelecer as classificações para o material rochoso, com base na IAEG (1979), Bell (1993; *in* Tavares, 1999), reproduzido na tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Classificação para o material geológico segundo valores de peso específico.

Peso específico (g/cm ³)	Descrição
<1,8	Muito baixo
1,8-2,2	Baixo
2,2-2,55	Moderado
2,55-2,75	Elevado
>2,75	Muito Elevado

3.7.7 Mineralogia argilosa

O valor do azul-de-metileno de um solo constitui um parâmetro de identificação que mede globalmente a quantidade e a actividade da fracção argilosa contida num solo ou num material rochoso (Hang & Brindley 1969; Tran Ngoc Lan, 1980), ensaiado através do teste da mancha (Tavares, 1990; Santos, 2006). Foi realizado segundo as recomendações da AFNOR (1993), LNEC (1993) e ASTM (1999).

A capacidade de troca iónica entre os catiões existentes na superfície das partículas argilosas e os catiões resultantes da dissociação da molécula orgânica que constitui o azul-de-metileno, em solução aquosa, são a base do mecanismo de ensaio de adsorção ao azul-de-metileno (Sasaki *et al.* 1981; Tavares, 1999).

A superfície específica total (S_a) é calculada a partir da seguinte expressão:

$$S_a \text{ (m}^2\text{/g)} = [(20,93V_a f)]/100 \quad (3.6)$$

Onde, V_a - volume gasto de azul-de-metileno; f – percentagem da amostra com granulometria $<0,042 \text{ mm}$; 20,93 – superfície correspondente a 1 cm^3 de azul-de-metileno.

De acordo com a tabela 3.15 (Grim, 1962; Fabbri, 1994; Vallejo *et al.* 2002) é possível classificar a argila em função da superfície específica, sendo assim possível avaliar o domínio da mineralogia argilosa que determina o comportamento do solo (tabela 3.15).

Tabela 3.15 - Classificação das argilas em função da superfície específica.

Mineral	Superfície Específica (m ² /g)
Caulinite	5-20
Illite	40-60
Vermiculite	200
Montmorilonite	800

Na tabela 3.16, apresenta-se a avaliação simplificada da sensibilidade dos solos à água (Brouguet & Rousseau, 1985), a partir do ensaio de azul-de-metileno e da caracterização granulométrica.

Tabela 3.16 - Avaliação da sensibilidade dos solos à água.

Superfície específica (m ² /g)		Descrição da sensibilidade dos solos na presença da água
Solos finos	Solos arenosos e cascalhentos	
<20	<2	Insensíveis
20-50	2-10	Sensibilidade do tipo siltoso
50-180	10-50	Sensibilidade do tipo argiloso, com minerais pouco ou moderadamente activos (caulinite, illite)
180-800		Sensibilidade do tipo argiloso, com minerais activos (esmectite)

Para avaliar ainda o comportamento da fracção argilosa calcula-se o coeficiente de argilosidade ACB, que se define pela seguinte relação (Rodrigues, 2007):

$$A_{CB} = VBS/C \quad (3.7)$$

Onde, VBS – valor do azul-de-metileno da fracção total; C – percentagem de argila.

A avaliação da actividade coloidal, A_c (Skempton, 1953; *in* Rodrigues, 2007) foi obtida pela expressão seguinte:

$$A_c = I_p / (\% < 2 \mu m) \quad (3.8)$$

Sendo, I_p – índice de plasticidade. Este índice permite obter-se a quantificação da actividade da argila (tabela 3.17), bem como a sua identificação (tabela 3.18).

Tabela 3.17 - Classificação dos minerais de argila quanto à actividade coloidal (Skempton, 1953; *in* Rodrigues 2007)

Argila	A_c
Inactiva	< 0,5
Pouco activa	0,5-0,75
Normal	0,75-1,25
Activa	1,25-2,0
Muito activa	>2,0

Tabela 3.18 - Classificação dos três principais minerais de argilas quanto à actividade coloidal (adaptado de Das, 1988 *in* Rodrigues 2007).

Mineral	A_c
Montemorilonite	1-7
Illite	0.5-1
Caulinite	0.5

3.7.8 Difractometria de raios-X

A difractometria de raios-X é uma técnica que permite quantificar e caracterizar com detalhe os minerais de argila. Esta análise baseia-se nas propriedades dos raios-X que são difractados pelos cristais, segundo orientações bem definidas, de acordo com a sua estrutura cristalina.

Foram obtidos difractogramas normais, glicolados e aquecidos (figura 3.8), que foram analisados segundo a metodologia proposta por Cunha (1993), tendo sido efectuada a análise qualitativa da mineralogia argilosa presente e semi-quantitativa de acordo com Reis (1983, *in* Cunha, 1993). A geometria e intensidade dos picos foram analisadas segundo os procedimentos apresentados por Reis (1983; *in* Cunha, 1993), Russel (1982), Grainger (1984) e Dick & Shakoore (1982).

A análise mineralógica pode ser abordada de um ponto de vista qualitativo, semi-quantitativo ou quantitativo. Na análise qualitativa, seguida neste trabalho, o objectivo foi o de identificar o tipo de minerais presentes na amostra a partir do difractograma, tendo ainda sido estimado o grau de cristalinidade dos minerais argilosos presentes.

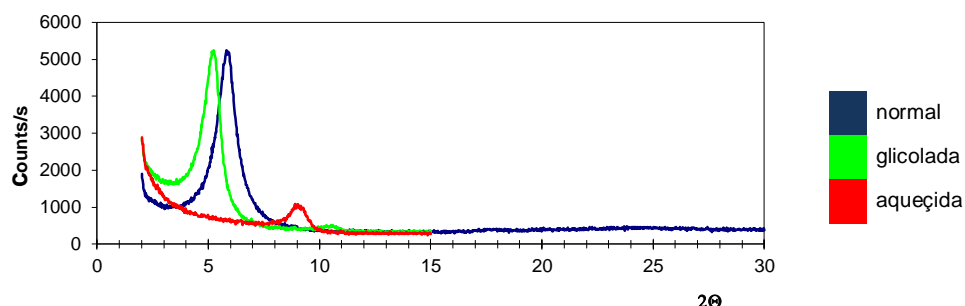


Figura 3.8- Difractogramas normais, glicolados e aquecidos.

3.7.9 Ensaio do pH

O pH é o grau de acidez de uma substância; traduz a actividade hidrogeniónica de uma dada solução. Utilizou-se para a realização deste ensaio a Especificação E-203 do LNEC (1967a) aplicada em rochas basálticas (Moon & Jayawardane, 2004; Hernández, 2008; Pinto, 2010).

A determinação do pH do solo (reacção) só é possível em solução, pelo que a sua obtenção exige que se junte uma porção de água e solo e se agite energicamente. O pH do solo é normalmente determinado numa suspensão solo/água, obtendo-se o chamado pH (H_2O), ou numa suspensão solo/solução salina normal, mais frequentemente o cloreto de potássio, obtendo-se, neste último caso, o chamado pH (KCl). É possível classificar-se o solo (tabela 3.19) quanto à concentração de pH.

Tabela 3.19 - Classificação do solo quanto à concentração de pH.

Classificação	Valores
Ácidos	pH < 5,5
Moderadamente ácidos	5,5 < pH < 6,4
Praticamente neutro	6,5 < pH < 6,9
Neutro	pH = 7,0
Alcalino	pH > 7,0

3.8 Trabalhos de laboratório em rocha

3.8.1 Ensaio de carga pontual ou Ensaio Franklin

Os ensaios para caracterização geomecânica dos maciços rochosos são importantes para o completo conhecimento dos materiais em estudo, podendo ser utilizados ensaios de laboratório para se obter alguns dos parâmetros requeridos, como recomendado pela ISRM (Filho, 2003).

O ensaio tem um procedimento sugerido pela ISRM (1985) e descrito por vários autores nomeadamente Rusnak & Mark (1999), Potro & Hürlimann (2009) e Singh & Singh (1993). Um método alternativo de aferir a resistência à compressão simples das rochas (Rusnak & Mark, 1999) consiste na determinação do índice de resistência ou índice de carga pontual através do ensaio “*Point Load Test*” (PLT) também conhecido por ensaio Franklin (Bowden *et al.* 1998). Consiste em provocar a rotura de amostras de rochas, obtidas a partir de provetes com diâmetros variando entre 25 e 100 mm, aplicando uma força pontual crescente (Figura 3.9).

Enquanto referência, o índice de carga pontual é definido para um ensaio realizado sobre provetes cilíndricos de rocha com diâmetro D igual a 50 mm, em que a aplicação da carga P é feita na direcção perpendicular ao alongamento, sendo calculado pela expressão seguinte proposta do ISRM (1985), e adoptada por exemplo por Potro & Hürlimann (2009), Singh & Singh (1993) e Zacoeb & Ishibashi (2009):

$$Is_{50} = P/D_e^2 \quad (3.9)$$

Em que Is_{50} – índice de resistência à carga pontual; P – carga de ruptura da amostra (N) e D_e – dimensão da amostra paralela ao carregamento (mm).

Para ensaios idênticos realizados sobre provetes cilíndricos com outros diâmetros (figura 3.10), a relação P/D_e^2 deverá ser multiplicada por um factor correctivo ou de redução $F=24$, a fim de se obter o Is_{50} , que é o índice de carga pontual normalizado (Broch & Franklin, 1972, in Al-Zyoud, 2009; Bieniaswski, 1975).

$$UCS = (F) \times Is_{50} = 24 \times Is_{50} \quad (3.10)$$

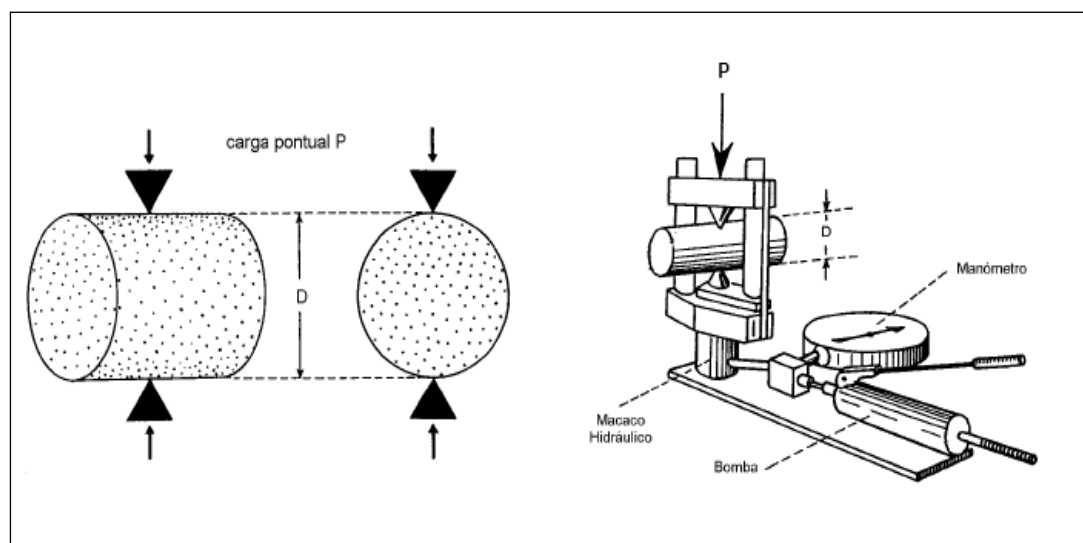


Figura 3.9 - Resistência sob carga pontual – Ensaio Franklin.

Rusnak & Mark (1999) também adoptaram a seguinte fórmula, para $De \neq 50$ mm a resistência à carga pontual é corrigida, através de um factor de correcção f , conforme a seguinte expressão:

$$f = (De/50)^{0,45} \quad (3.11)$$

Em que De é a espessura da amostra e f o factor de redução.

Kahraman & Gunaydin (2009), utilizaram as seguintes equações das curvas para rochas ígneas:

$$UCS = 8.20 \times Is + 36.43 \quad (3.12)$$

e para as rochas sedimentares,

$$UCS = 29.77 \times Is - 51.49 \quad (3.13)$$

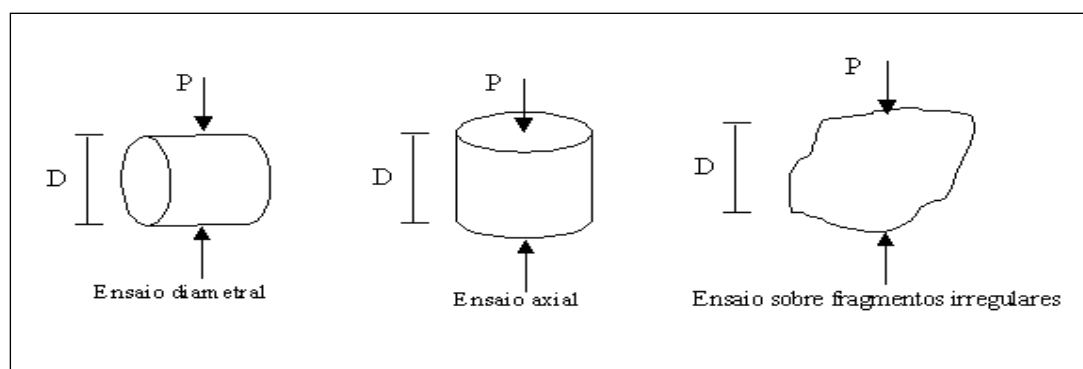


Figura 3.10 - Ilustração das possíveis formas de aplicar o ensaio de carga pontual (Filho, 2003).

De acordo com a FEUP (2010) em rochas isotrópicas, como é o caso dos basaltos, são necessários 10 ensaios válidos por cada tipo de rocha, podendo este número ser inferior quando a dispersão dos resultados for pequena.

3.8.2 Classificação da resistência das rochas

Finalmente, realizaram-se através de análises expeditas, com o recurso ao martelo de geólogo ou a uma faca, estimativas qualitativas dos valores da resistência à compressão simples. Para tal, recorreu-se à classificação proposta pela ISRM (tabela 3.20), a qual em função do grau de qualidade da rocha correlaciona a resistência à compressão simples (USC) com o índice de carga pontual (Is_{50}) e com o comportamento do material face àquelas análises expeditas (Bieniaswski, 1975) e referido por Singh & Singh (1993).

A quantificação da resistência à compressão uniaxial é possível utilizando o ensaio de carga pontual, designado por *Point Load Test* (PLT).

De seguida na tabela 3.20, apresenta-se a classificação indirecta do material rochoso relativamente à compressão uniaxial ou simples proposta pela ISRM (1981).

Tabela 3.20 - Classificação do material rochoso relativamente à compressão uniaxial ou simples ISRM (1981).

Intervalo (MPa)	Símbolo		Classificação	
>200	S1	$S_{1,2}$	Muito elevada	Elevada
60-200	S2		Elevada	
20-60	S3	S_3	Moderada	Moderada
6-20	S4	$S_{4,5}$	Baixa	Baixa
<6	S5		Muito Baixa	

Na tabela 3.21, apresenta-se a classificação de Broch & Franklin (1972; adaptado de Andrade, 2004), para a resistência dos materiais rochosos à compressão pontual.

Tabela 3.21 - Aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972; adaptado de Andrade, 2004).

Classificação da resistência	(Mpa)	Símbolo
Muito elevada	3-10	P4
Elevada	1-3	P3
Elevada a média		P2
Média	0,3-1	P1

Outra classificação utilizada é a de Bieniawski (1974), para a resistência do material rochoso, segundo a tabela 5.43.

Tabela 3.22 - Classificação de Bieniawski (1974), para a resistência do material rochoso.

Resistência do material rochoso	Mpa	Simbolo
Muito elevada	>8	R5
Elevada	4-8	R4
Média	2-4	R3
Baixa	1-2	R2
Muito Baixa	<1	R1

3.9 Radioactividade natural

A radioactividade foi descoberta por Henri Becquerel, em 1896, na sequência da investigação das propriedades de materiais fluorescentes (sais de urânio), aos quais reconheceu a emissão de radiação independentemente da indução por uma fonte de energia externa. Consiste na transformação natural e espontânea de isótopos instáveis, por emissão de radiação alfa ou beta, em isótopos de elementos químicos distintos.

As rochas e solos contêm quantidades variáveis dos elementos radiogénicos urânio, tório e potássio, emitindo radiação ionizante. A concentração destes elementos é facilmente quantificável através de técnicas de espectrometria gama, sendo esta informação útil em geoquímica, dada a relação com as características mineralógicas e petrológicas das rochas, sendo também pertinente para algumas questões ambientais (Pinto *et al.* 2011).

Desta forma, realizou-se uma recolha de amostras representativas das diferentes unidades litológicas que afloram na área de estudo, para quantificação dos seus elementos radiogénicos, tendo-se adicionalmente efectuado uma avaliação das concentrações do gás radão em algumas habitações representativas. Este gás é produzido naturalmente na cadeia de decaimento do urânio, tendo sido utilizados os seguintes métodos e técnicas de avaliação.

3.9.1 Quantificação de urânio, tório e potássio nas rochas

Foi efectuada no campo a recolha de 32 amostras representativas das principais unidades litológicas ocorrentes na região estudada. Para quantificação dos elementos radiogénicos foi utilizado um sistema de espectrometria gama Ortec disponível no Laboratório de Radioactividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, baseado em detector de NaI (TI) de 3 polegadas. As amostras foram inicialmente reduzidas a granulometria não superior a 0,5 mm no Laboratório de Preparação de Amostras, tendo sido de seguida colocadas em beakers Marinelli com

volume de 0,27 litros. Os beakers, após colocação das respectivas tampas, foram catalogados e pesados, sendo estanques e impermeáveis ao gás radão. Antes da análise foi necessário aguardar cerca de 4 semanas para o restabelecimento do equilíbrio isotópico na cadeia de decaimento do urânio.

Após decorrido este tempo, os beakers foram colocados num castelo de chumbo (figura 3.11), de forma a isolar ao máximo a amostra da interferência da radiação gama ambiente, tendo sido feita a aquisição do espectro de radiação gama emitida ao longo de um tempo de contagem de 10 horas. O processamento do espectro foi realizado com o software Scintivision32, otimizado para este tipo de detectores, permitindo quantificação das contagens líquidas registadas para os picos de K^{40} (1460 keV), Bi^{214} (1760 keV) e Tl^{208} (2614 keV). A resposta de cada pico foi aferida através do uso de padrões da IAEA, respectivamente RGK^{-1} , RGU^{-1} e $RGTh^{-1}$. As actividades dos isótopos referidos foram finalmente calculadas, após subtracção do background ambiental, e tendo em conta o peso de cada amostra.



Figura 3.11 - Sistema de espectrometria gama Ortec com detector de 3x3" NaI(Tl) e castelo de chumbo para quantificação dos elementos radiogénicos, urânio, tório e potássio.

Assumindo equilíbrio nas cadeias de decaimento de U e Th, a actividade medida para Bi^{214} e Tl^{208} é equivalente à actividade dos isótopos precursores, designadamente U^{238} e Th^{232} , o que permite, neste pressuposto, estimar as concentrações de U e Th nas amostras. A análise de K^{40} é directa e permite estimar a concentração de K. O erro analítico é tipicamente inferior a 5%.

3.9.2 Quantificação do gás radão em espaços interiores

Um total de 33 detectores passivos do tipo CR39, contidos dentro de caixas de material plástico condutivo, anti-electrostático e devidamente seladas, foram colocados em habitações na área de estudo (Cidade da Praia), no período compreendido entre Julho de 2010 e Setembro de 2010; o tempo de exposição médio foi de 2 meses, tendo os detectores sido colocados preferencialmente nos espaços mais habitados (quartos, salas) e ao nível do rés-do-chão (figura 3.12). O objectivo deste ensaio foi o de avaliar as concentrações do gás radão existentes em espaços interiores numa perspectiva de risco ambiental, bem como o de correlacionar os resultados com as concentrações de urânio determinadas nas rochas.

Após exposição, os detectores foram processados no Laboratório de Radioactividade Natural da Universidade de Coimbra, procedendo-se numa primeira fase a um ataque químico em solução de NaOH, a 90°C, durante 4 horas, e numa segunda etapa à contagem da densidade de traços alfa através de sistema automático Radosys (figura 3.13), que inclui mecanismo de deslocamento de elevada precisão, microscópio associado a câmara de vídeo e programa informático de tratamento de imagem (Pereira *et al.* 2010; figura 3.14).

Finalmente, a densidade de impactos observada por unidade de tempo foi convertida em unidades de actividade do radão através da aplicação de factores apropriados, determinados pelo fabricante para cada lote de detectores em câmara de radão calibrada e validados através de intercomparações laboratoriais. As concentrações de radão obtidas são expressas em Bq.m^{-3} e o erro analítico considerado é inferior a 10% do valor medido.

Carta Litológica
Praia, Santiago (Cabo Verde)

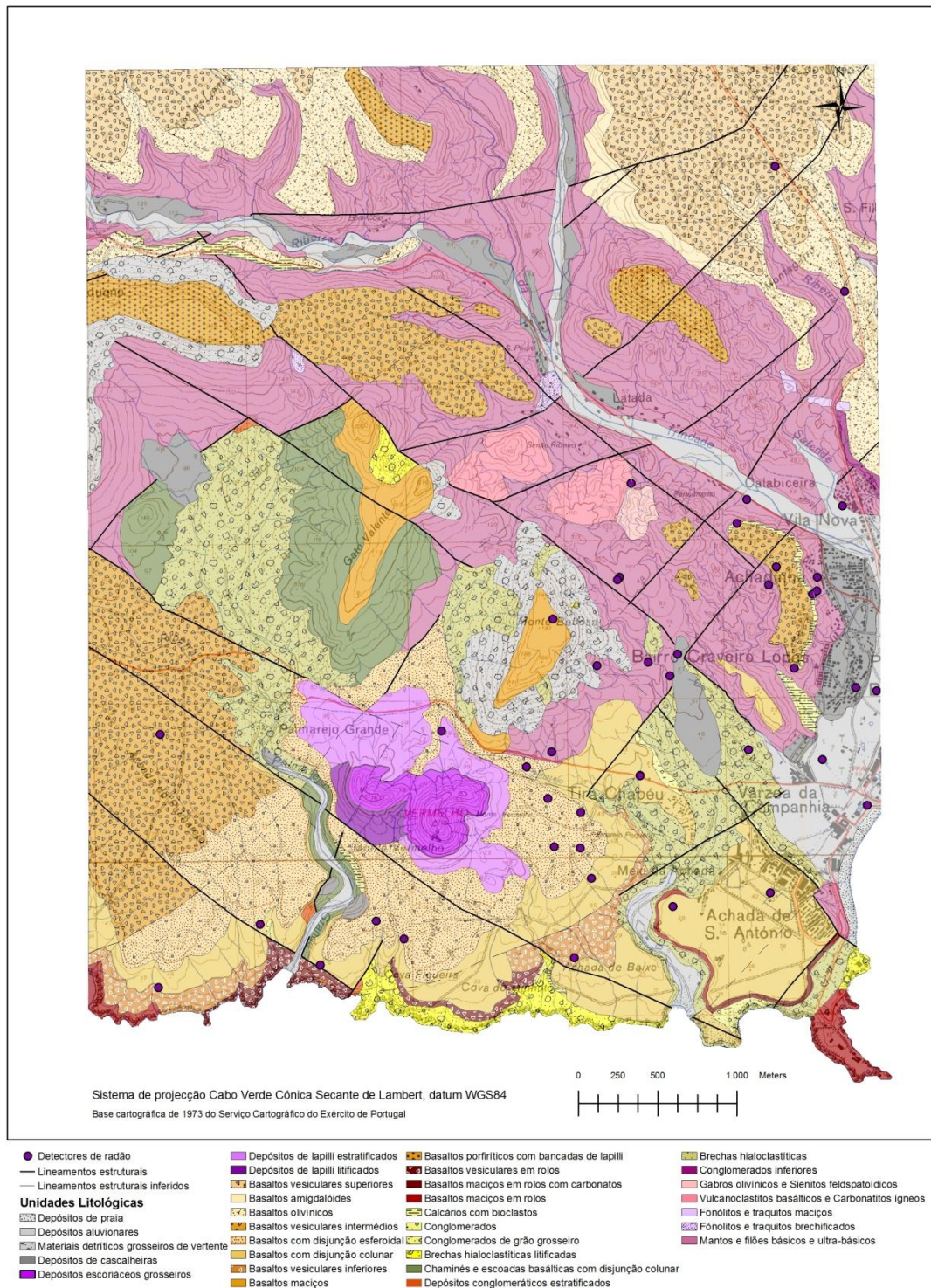


Figura 3.12 - Localização dos locais de instalação dos detectores de radão em habitações.



Figura 3.13 - Detector passivo do tipo CR39 em invólucro plástico anti-electrostático e respectiva embalagem de folha de alumínio (à esquerda), e aspecto dos impactos das partículas alfa no detector CR39 em observação ao microscópio após tratamento químico (à direita).

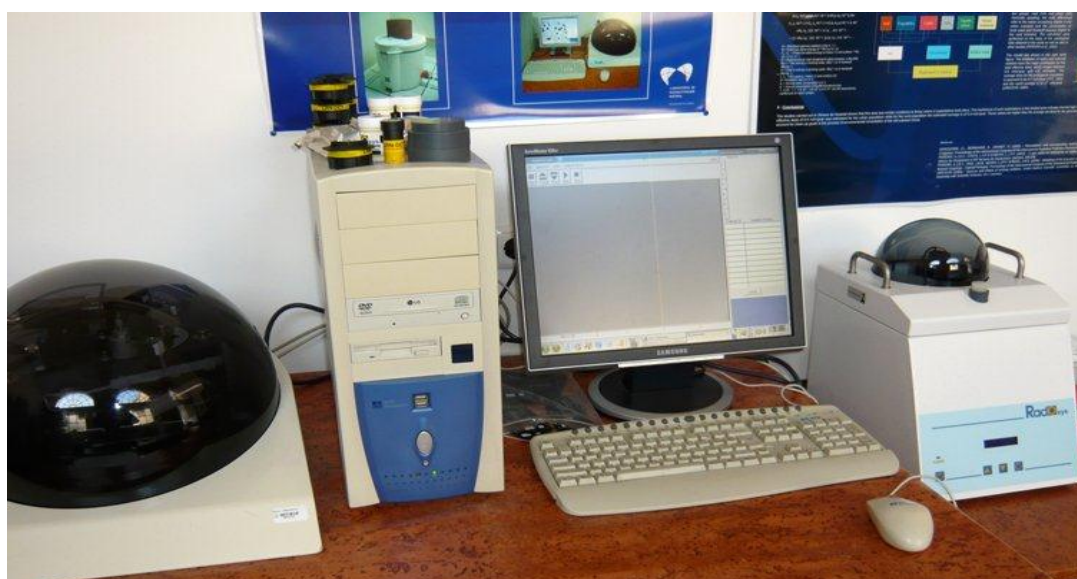


Figura 3.14 - Sistema de análise automática Radosys para contagem dos detectores passivos do radão do tipo CR39.

3.10 Detecção remota

De um modo geral, os sistemas passivos de Detecção Remota registam a radiação electromagnética reflectida pela superfície terrestre, pelo que o parâmetro reflectância vai ser o principal na análise da interacção entre a radiação electromagnética e o terreno (Fonseca & Fernandes, 2004; *in* Venâncio, 2007).

A cartografia estrutural pode ser apoiada pela análise das formas de relevo e alinhamentos visíveis em imagens de satélite, devido à vasta área de análise proporcionada por estes dados. Algumas técnicas de processamento realçam esses aspectos, tornando mais simples a sua identificação. Nas litologias, os seus contactos e características estruturais podem ser delimitados utilizando a cor, a textura, a forma, o tamanho e as

relações espaciais e contextuais. A informação contida numa imagem de satélite pode ser interpretada pela análise integrada de parâmetros como a natureza litológica das formações, a morfologia do terreno, o grau de meteorização, os padrões de drenagem, os aspectos estruturais, a existência de solo ou cobertura vegetal e as propriedades espectrais observadas (Rabaça, 2001).

Assim, a obtenção de imagens de Detecção Remota registando o comportamento espectral de corpos desconhecidos e a necessidade de caracterizar e classificar esses corpos, levou ao desenvolvimento de todo um trabalho experimental no sentido de estabelecer uma relação entre um objecto e a sua assinatura espectral, uma vez que comportamentos espectrais idênticos corresponderão a corpos de composição mineralógica, petrográfica e textural semelhantes (Rabaça, 2001).

A informação litológica contida numa imagem de satélite pode ser interpretada pela análise integrada de parâmetros como a natureza litológica das formações, a morfologia do terreno, o grau de meteorização, os padrões de drenagem, os aspectos estruturais, a existência de solo ou cobertura vegetal e as propriedades espectrais observadas (Rabaça, 2001). Assim, para o reconhecimento e diferenciação dos tipos litológicos, é essencial ter um conhecimento profundo das características espectrais dos diferentes tipos de rochas e das propriedades que lhe conferem essas características. Existem diversos factores, como a vegetação, cobertura de solo ou teor de humidade, que exercem uma acção de camuflagem sobre o substrato rochoso, dificultando o seu reconhecimento; contudo, nalguns contextos podem exercer a acção inversa, ajudando a salientar diferenças entre tipos litológicos distintos.

No presente estudo foram obtidos dados do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +) do satélite Landsat 7 através do sistema Global Visualization Viewer (GloVis) mantido pelo United States Geological Survey (USGS). Os dados correspondentes à área de estudo da Cidade da Praia, localizam-se, de acordo com o sistema WRS-2, no Path 210 Row 050. Os dados ETM+ foram adquiridos a 26 de Maio de 2003 (SLC-ON) e processados utilizando o software ERDAS IMAGINE 2010.

O processamento iniciou-se com a construção de um ficheiro único no formato img, contendo as bandas espectrais 1, 5 e 7. A banda térmica, por diferir na resolução espacial (60 metros ao invés de 30 m como as restantes) foi convertida do formato em que é distribuída pela USGS (TIFF de 8 bit) para o que é favorecido pelo software (IMG). Posteriormente, os dados ETM+, cuja informação se encontra armazenada sob a forma digital de 8 bit (DN) foram convertidos para reflectância. Para tal recorreu-se a um procedimento em duas fases.

Primeiro, foi calculada a radiância de acordo com a equação:

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX_{\lambda} - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (3.14)$$

Em que L é a radiância espectral, LMAX a radiância espectral escalada para QCALMAX, LMIN a radiância espectral escalada para QCALMIN; QCAL é o número digital do pixel, QCALMAX é 255 e QCALMIN é 1.

Posteriormente a reflectância planetária (unitless planetary reflectance) é calculada recorrendo à equação:

$$\rho_p = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos \theta_s} \quad (3.15)$$

Em que ρ_p é a reflectância sem unidades, d a distância da Terra ao Sol (a.u.), $ESUN_\lambda$ a irradiância exoatmosférica média e θ_s o zénite solar (em graus). Os valores necessários aos cálculos foram obtidos a partir de Chander *et al.* (2009).

Após a fase de pré-processamento, os dados espectrais foram corrigidos de forma simples, recorrendo ao método do dark pixel (Chavez, 1996). Neste, o valor mais baixo das bandas é subtraído a cada pixel. Com este processo o histograma é deslocado, minimizando-se a componente aditiva do ruído introduzido pela atmosfera, sobretudo nas bandas do intervalo de comprimentos de onda do visível. Dados os objectivos do trabalho, que não incluem a comparação de dados de diferentes datas, considerou-se suficiente a correcção assim obtida.

Uma vez processados, foram criadas combinações de várias bandas, nomeadamente 751, 432 e 321 para facilitar a interpretação visual e comparação com os dados cartográficos obtidos no terreno. Estas combinações foram ainda submetidas a melhoramentos de contraste e à fusão com a banda 8 (pancromática) do sensor ETM+ de forma a melhorar a resolução espacial da imagem (de 30 para 15 m).

Procurou-se assim correlacionar as diferentes cores e texturas visíveis nas imagens com as litologias cartografadas. A análise comparativa foi efectuada com recurso ao software ArcGIS 9.3 (ESRI).

De forma a criar um modelo digital de terreno (MDT) da área de estudo, utilizaram-se as curvas de nível da carta topográfica da ilha de Santiago – folha 58 (1973) à escala 1/25.000 que, através de um processo de krigging, disponibilizado na extensão Spatial Analyst do ArcGIS 9.3, foram convertidas para formar o raster (resolução espacial de 25 m).

A exportação do MDT juntamente com a litologia da área de estudo cartografada em formato shapefile que lhe foi sobreposta, para o aplicativo ArcScene, permitiu a visualização em 3 dimensões dos dados e assim uma mais simples interpretação e validação da informação.

3.11 Análise química e mineralógica

A preparação física das amostras foi realizada no laboratório de preparação de amostras do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (Portugal). Já no laboratório, as amostras de rocha representativas recolhidas no campo (~1 kg de rocha) foram limpas e cortadas, com serra diamantada, em vários fragmentos, parte dos quais se destinou à execução de lâminas delgadas e delgadas polidas para posteriores estudos mineralógicos.

Os fragmentos de rocha foram depois sujeitos à prensa hidráulica e partidos em pedaços suficientemente pequenos para processamento em moinho de maxilas, com redução do tamanho do grão a material de dimensão < 2 mm. Este foi posteriormente moído durante cerca de 20 minutos em moínho de ágata para futura análise química, com redução do grão a 1 mm. Entre cada moagem o moinho foi lavado com água, seguindo-se uma moagem de cerca 30 g de sílica, durante 5 minutos, e finalmente uma limpeza com álcool etílico a 96%.

As amostras foram posteriormente enviadas para o Instituto Geológico y Minero de España para análise petrográfica e geoquímica. Aqui foram efectuadas as seguintes análises:

- Si, Al, Fe, Ca, Ti, Mn, K, Mg, Na e P por fluorescência de raios-X (Procedimento PTE-RXC-001). As amostras foram objecto de fusão com tetraborato de lítio, numa relação fundente/amostra de 5,5/0,3, recorrendo a uma perladora Perle'X3, e subsequentemente medidas em equipamento Magix Panalytical, equipado com tubo de Rh;
- Na por espectrofotometria de absorção atómica (Método PTE-WH-035). As amostras foram objecto de fusão com metaborato de lítio, numa relação fundente/amostra de 0,3/0,2;
- Perda por calcinação (ppc) a 950°C;
- Restantes elementos traço – foi produzida pastilha de 8 g de amostra prensada com Elvacite, tendo a subsequente análise sido efectuada com recurso a equipamento Magix Panalytical utilizando o programa Protrace.

As amostras foram adicionalmente analisadas por difracção de raios-X (Procedimento PTE-RX-004), utilizando o método do pó cristalino, em equipamento PROX'Pert Panalytical, recorrendo a monocromador de grafite e ao software High-Score da mesma marca, bem como à base de dados ICDD.

4

CARACTERIZAÇÃO E RELAÇÕES GEOMÉTRICAS DAS UNIDADES LITOLÓGICAS

O presente capítulo está estruturado em duas partes; uma primeira parte em que é apresentada a carta de unidades litológicas da área de estudo e uma segunda parte com a descrição das unidades litológicas. Na carta de unidades litológicas transparece a representação das unidades litológicas cartografadas através de trabalhos de campo e interpretação por detecção remota, assim como a representação dos principais alinhamentos tectónicos. A descrição das unidades litológicas realizou-se segundo aspectos que incidiram principalmente nas características de natureza litológica (textura e composição), estrutura litológica e características de estado *in situ*.

4.1 Carta de unidades litológicas

A cartografia das unidades litológicas baseou-se nos critérios descritos na metodologia para os trabalhos de campo e que envolvem a caracterização de elementos petrográficos como a cor, granulometria, natureza e % dos clastos, natureza e % da matriz rochosa, textura, minerais constituintes, dimensões médias dos minerais maiores, descrição da disjunção/estrutura do afloramento, forma dos blocos, volume dos blocos (blocometria), abertura e espaçamento das descontinuidades, direcção das descontinuidades, assim como a representação da orientação e espessura da unidade litológica, direcção, pendor e possança dos filões, ou a avaliação da resistência à percussão dos materiais e do estado de alteração do afloramento.

Utilizou-se como referência os trabalhos de cartografia prévia de Serralheiro (1976) e estudos elaborados por Bernard-Griffiths *et al.* (1975), Alves *et al.* (1979), Holm *et al.* (2008), Martins *et al.* (2008, 2010), Barker *et al.* (2009a,b) e Ramalho (2009), o que originou a cartografia de unidades litológicas para a área de estudo e patente na figura 4.1. Os critérios de individualização respeitaram os definidos pela IAGE (1981b) e a nomenclatura para textura das rochas vulcânicas proposta por McPhie *et al.* (1993).

A escala de representação nos trabalhos de campo foi de 1/10.000 tendo sido utilizada com base de trabalho a carta topográfica na escala 1:25.000 (Santiago, folha 58), do ano de 1973, publicada pelo Serviço Cartográfico do Exército de Portugal.

Na tabela 4.1 são representadas as equivalências entre os Complexos e Formações Geológicas descritas por A. Serralheiro (1976) e as representações segundo outros autores, como Gerlach *et al.* (1988), Martins *et al.* (2008), Holm *et al.* (2008) e Ramalho (2009).

Na tabela 4.2 transparece a equivalência entre a sequência estratigráfica de Serralheiro e a coluna litológica deste trabalho. Procura-se com estes dois elementos de síntese enquadrar e estabelecer as equivalências, não formais, entre as fontes bibliográficas e cartográficas prévias e a cartografia resultante deste trabalho.

Assumiu-se na cartografia uma cronostratigrafia das unidades baseada na diferenciação de idade geológica, representada por superfícies de descontinuidade (Silva *et al.* 2008), as quais materializam conjuntos de materiais rochosos, processos e fenómenos geológicos registados durante um certo intervalo de tempo (Henriques, 2002).

A definição e cartografia de unidades litológicas na área de estudo baseou-se na aplicação dos pressupostos enunciados pela GSL (1972), UNESCO/IAEG (1976), e pela IAEG (1981b). Procurou-se definir um conjunto de unidades, que não constituindo domínios uniformes capazes de reproduzir propriedades físicas e mecânicas, pelo seu arranjo espacial e pelas relações entre tipos líticos ou litológicos, induzissem uma variabilidade de comportamento e reproduzissem características superficiais de natureza e estado *in situ* diferenciadas para cada uma delas (Tavares, 1999).

A unidade litológica traduz assim, uma tentativa de criar domínios de homogeneidade relativamente à composição, textura e estrutura, e em que podem ser variáveis as características de estado *in situ*.

Carta Litológica
Praia, Santiago (Cabo Verde)

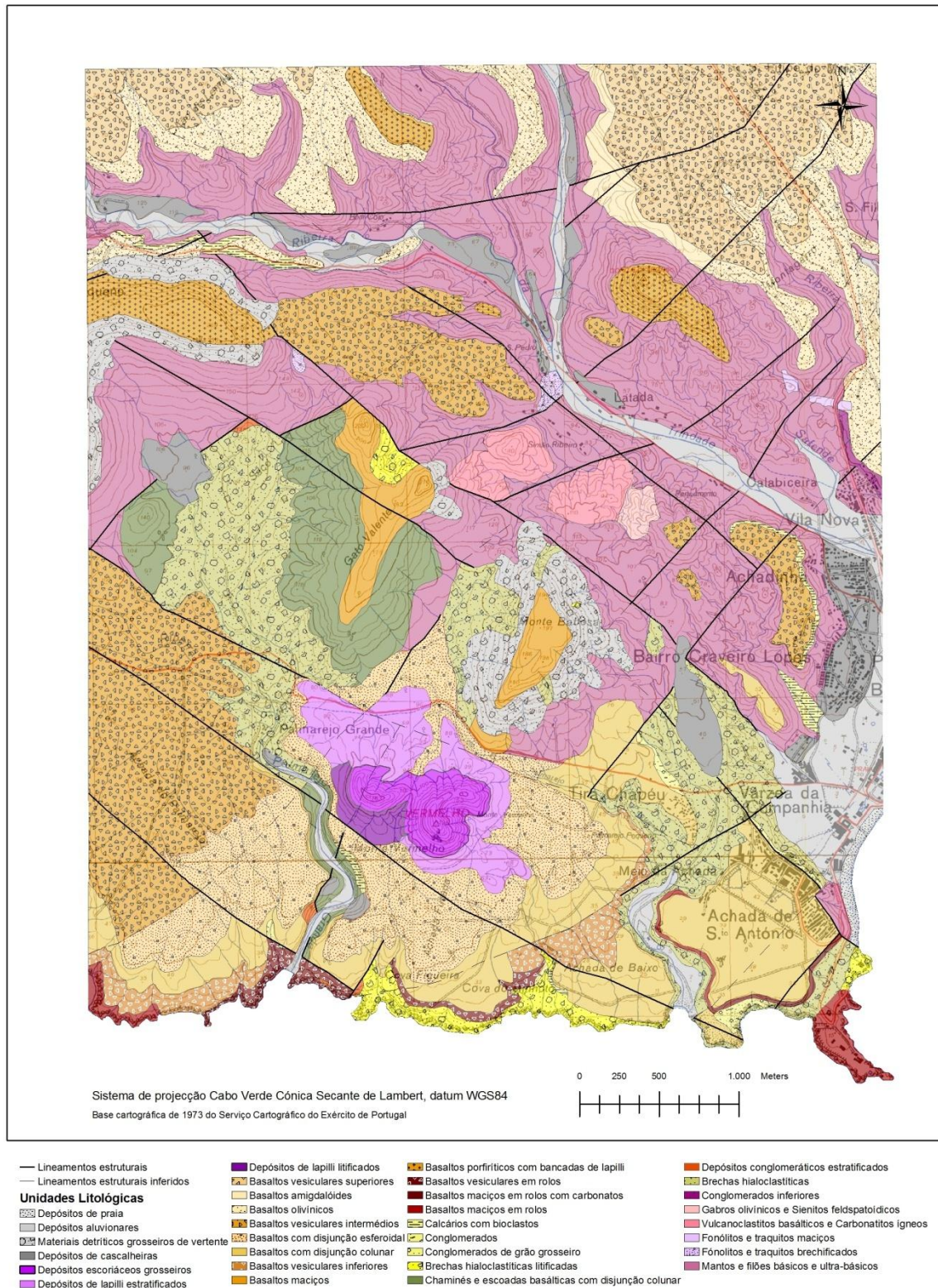


Figura 4.1 - Carta de Unidades Litológicas da Cidade da Praia (Santiago, Cabo Verde) com representação dos alinhamentos tectónicos principais.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Tabela 4.1 - Equivalência entre a sequência de unidades de Serralheiro (1976) e a proposta por outros autores.

Formações Geológicas (Serralheiro, 1976)	Outros autores: ¹ Johnson <i>et al.</i> (2012); ² Ramalho (2009); ³ Holm <i>et al.</i> (2008); ⁴ Martins <i>et al.</i> (2008); ⁵ Gerlach <i>et al.</i> (1988)
Formações Sedimentares recentes (SR): Areias da praia, aluviões, depósitos de enxurrada e depósitos de vertente – Holocénico. Casalheiras – Plistocénico.	
Formação do Monte das Vacas (MV): Cones e derrames de piroclastos (escórias, lapilli, bombas, lavas, etc.).	
Formação da Assomada (A): Mantos e piroclastos subaéreos.	As lavas e piroclastos das Formações de Assomada e do Monte das Vacas, na zona sul da ilha, constituem produtos e morfologias da mesma unidade. ¹
Complexo Eruptivo Principal, do Pico de Antónia (PA): Mantos subaéreos, piroclastos e chaminés (indiferenciados). Calcários, calcarenitos Lavas em rolos superiores Calcários, conglomerados Lavas em rolos inferiores Conglomerados, calcarenitos	As lavas subaéreas recentes do Complexo Eruptivo do Pico de Antónia da zona sul da ilha, pertencem às Formação da Assomada e do Monte das Vacas. ¹ A série superior subaérea apresenta morfologias submarinas <i>in the fringes of the edifice</i> . ² O Complexo Eruptivo do Pico de Antónia é constituído por duas séries; a superior essencialmente subaérea e a inferior submarina. O limite entre as duas séries é marcado por conglomerados ou plataforma erosiva. ⁴
Formação dos Órgãos (CB): Depósitos de enxurrada, do tipo lahar, com mantos intercalados.	
Formação dos Flamengos (λp): Mantos, brechas e piroclastos.	Fase inicial de construção do vulcão-escudo submarino. ²
Conglomerados ante - Formação Flamengos.	
Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA): Gabros e Sienitos Brechas intravulcânicas e Carbonatitos Intrusões fonolíticas e traquíticas Filões de ankaratritos e de limburgitos	Produtos vulcânicos submarinos alterados. ³ Possível existência de basaltos do tipo MORB. ⁵ <i>End of Seamount Stage?</i> ⁵

Tabela 4.2 - Sequência cronostratigráfica geral de A. Serralheiro e coluna litológica da área de estudo.

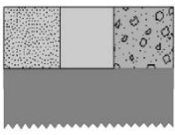
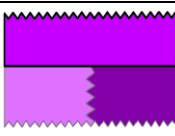




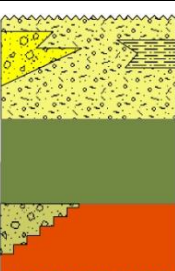

Serralheiro (1976)			Este trabalho			Coluna litológica sintética
Formação (Complexo) Geológica	Unidade Geológica		Unidade Litológica			
Formações sedimentares recentes (SR)	Areias da praia, aluviões e depósitos de enxurrada e de vertente - Holocénico		Depósitos de praia	Depósitos aluvionares	Materiais detriticos grosseiros de vertente	
	Cascalheiras do Plistocénico		Depósitos de cascalheiras			
Formação do Monte das Vacas (MV)	Cones e derrames de piroclastos (escórias, lapilli, bombas e lavas)		Depósitos escoriáceos grosseiros			
			Depósitos de lapilli estratificados	Depósitos de lapilli litificados		
Complexo Eruptivo, Principal do Pico de Antónia (PA)	Mantos subáereos, piroclastos e chaminés (indiferenciados)	Lavas em rolos inferiores **Conglomerados e calcários	Basaltos vesiculares superiores			
			Basaltos olivínicos	Basaltos amigdalóides		
			Basaltos vesiculares intermédios			
			Basaltos com disjunção esferoidal			
			Basaltos com disjunção colunar			
			Basaltos vesiculares inferiores			
			Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli	Basaltos maciços		
			Basaltos vesiculares em rolos			
			Basaltos maciços em rolos	Basaltos maciços em rolos com carbonatos		
Formação dos Órgãos	*Depósitos de enxurrada (lahar) com mantos intercalados		Sem representação na área de estudo			
Formação dos Flamengos (Λp)	Mantos, brechas e piroclastos submarinos		Brechas hialoclastíticas litificadas	**Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos		
			Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular			
			*Depósitos conglomeráticos estratificados	Brechas hialoclastíticas		
Conglomerados ante-formação dos Flamengos	Conglomerados ante-Formação dos Flamengos		Conglomerados inferiores			

Tabela 4.2 - Sequência cronostratigráfica geral de A. Serralheiro e coluna litológica da área de estudo - Continuação				
Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)	Gabros e Sienitos Carbonatitos Fonólitos e Traquitos Brechas intravulcânicas Complexo Filoniano de base	Gabros olivínicos e Sienitos feldpatoídicos	Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos	
		Fonólitos e traquitos brechificados	Fonólitos e traquitos maciços	
		Mantos e filões básicos e ultra-básicos		

*Provavelmente equivalentes

** Provavelmente equivalentes

4.1.1 Espectros de reflectância das unidades litológicas

Cada superfície exposta possui uma assinatura espectral característica resultante da reflexão da radiação. O comportamento espectral do substrato rochoso reveste-se de particular importância, uma vez que define a composição mineralógica e textural do solo que lhe sucede, a qualidade do mesmo enquanto suporte vegetal e a capacidade de retenção de água à superfície.

A utilização das técnicas de detecção remota como complemento às técnicas tradicionais de cartografia geológica são de grande importância, dada a rapidez e o baixo custo de utilização destas ferramentas, especialmente em zonas remotas e de difícil acesso.

A cartografia estrutural é realizada com base em formas de relevo e alinhamentos visíveis em imagens de satélite, devido à vasta área de análise proporcionada por esses dados. Algumas técnicas de processamento realçam essas feições, tornando mais simples a sua identificação.

As litologias, os seus contactos e características estruturais podem ser delimitados utilizando a cor, a textura, a forma, o tamanho e as relações espaciais e contextuais (Rabaça, 2001; *in* Venâncio, 2007).

Dado que a assinatura espectral corresponde ao comportamento espectral de um corpo a superfície da Terra ao longo do espectro electromagnético, verifica-se que existem, para cada mineral, rocha, solo e espécie vegetal, picos de reflectância e absorção (Baldrige *et al.* 2009).

O uso de dados de Detecção Remota em cartografia geológica apresenta vantagens evidentes, a começar pela rapidez com que se obtém o conhecimento geológico/litológico básico de uma região.

Foram no presente trabalho utilizadas imagens do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper+) do satélite Landsat-7 obtidos através do sistema Global Visualization Viewer (GloVis) mantido pelo United States Geological Survey (USGS). Os dados correspondentes à área de estudo localizam-se, de acordo com o sistema WRS-2, no Path 210 Row 050. Os dados ETM+ foram adquiridos a 26 de Maio de 2003 (SLC-ON) e processados utilizando o software ERDAS IMAGINE 2010.

Através de um intensivo processo de correcção, realce, transformação e fusão dos dados, obteve-se informações de carácter litológico e estrutural que contribuiu para a elaboração de uma versão da carta litológica na escala 1/10.000 da área da Cidade da Praia. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 utilizadas mostraram mais aptidão para a cartografia litológica. A banda pancromática permitiu obter resultados notáveis de carácter estrutural.

A imagem RADAR apresentou resultados excelentes para a cartografia estrutural, corroborando os dados da banda pancromática. A sua fusão com dados altimétricos permitiu realçar os aspectos geomorfológicos e destacar as fracturas que condicionaram esses mesmos aspectos na região.

A identificação e classificação das unidades litológicas da Cidade da Praia, a partir das imagens de satélite, permitiram por um lado o suporte à cartografia realizada e, por outro, a redefinição das unidades litológicas.

A imagem de satélite constitui uma matriz em que cada elemento (*pixel*) representa a média da radiação emitida pelos diferentes objectos localizados na porção de solo correspondente; esta imagem é registada em bandas espectrais a que correspondem diferentes comprimentos de onda e que permitem evidenciar aspectos distintos. As características espectrais, resolução geométrica e aplicações principais das sete bandas a que correspondem os canais TM, são descritos na tabela 4.3 (Stauffer, 1994; *in* Tavares, 1999).

Observam-se diferenças entre as unidades litológicas em particular nas bandas 5 e 7, contudo dependendo da composição da superfície em análise a resposta das restantes bandas pode também contribuir com informação essencial para a diferenciação.

A banda 5 é útil na identificação de unidades sejam litológicas, sejam solos ou a cobertura do solo, isto porque apesar da diversidade de situações, a presença de humidade tem sempre um significado relevante. Por norma, todas as bandas podem ser usadas (só a banda 1 requer alguns cuidados extra devido aos efeitos atmosféricos); a interpretação das diferenças é que será distinta sendo necessário analisar a informação numa perspectiva mais abrangente e não apenas litológica. Uma banda acaba assim por responder a um conjunto largo de factores, embora alguns se possam sobrepor aos restantes em determinados contextos.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Tabela 4.3 - Características espectrais, resolução geométrica e aplicações principais das sete bandas a que correspondem os canais TM.

Banda	Comprimento de onda (nm)	Domínio espectral	Resolução (m)	Aplicações principais
TM1	450-520	Azul - verde	30	Estudos de sedimentos subaquáticos: carga sedimentar em lagos e rios, deriva litoral, plumas. Distinção florestal entre coníferas e folhosas.
TM2	520-600	Verde	30	Pico de reflectância no verde: indicador de vegetação sã (por reflexão da clorofila).
TM3	630-690	Vermelho	30	Diferenciação vegetal a partir da absorção da clorofila.
TM4	760-900	Infravermelho próximo	30	Avaliação da biomassa, estudos geobotânicos, delimitação de planos de água, pântanos e rios.
TM5	1550-1750	Infravermelho médio	30	Teor em água da vegetação, humidade do solo, diferenciação entre nuvens/neve/gelo.
TM6	10400-12500	Infravermelho térmico	120	Elaboração de cartas temáticas, avaliação do “stress” hídrico da vegetação, humidade do solo.
TM7	2080-2350	Infravermelho médio	30	Diferenciação entre tipos de rochas, alterações hidrotermais.

Estão expressos na tabela 4.4 os parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas que constituem a litologia de base da área de estudo. Não foi possível a caracterização dos Fonólitos e traquitos maciços, uma vez que o afloramento se situa numa área densamente urbanizada.

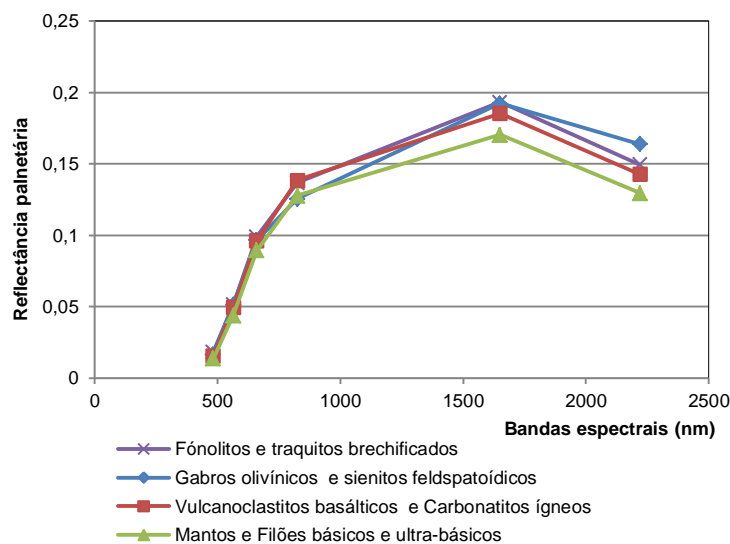
Tabela 4.4 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas de base.

Unidade litológica	N	Parâmetros estatísticos	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Range 5x5 Ls7 B7	Range 5x5 DEM
Fonólitos e traquitos brechificados	3	Média	0,0185	0,0513	0,0991	0,1367	0,1934	0,1497	0,0416	7,9986
		DP	0,0075	0,0118	0,0166	0,0335	0,0287	0,0096	0,0348	3,4819
		Mediana	0,0213	0,0529	0,0977	0,1323	0,1867	0,1497	0,0365	6,8074
		Mínimo	0,0099	0,0389	0,0833	0,1056	0,1686	0,1401	0,0096	5,2685
		Máximo	0,0241	0,0622	0,1164	0,1722	0,2248	0,1592	0,0787	11,9197
Gabros olivínicos e Sienitos feldspatóidicos	6	Média	0,0166	0,0516	0,0967	0,1256	0,1923	0,1640	0,0294	9,3609
		DP	0,0012	0,0030	0,0064	0,0063	0,0152	0,0167	0,0125	2,3467
		Mediana	0,0163	0,0521	0,0948	0,1256	0,1867	0,1564	0,0288	8,7178
		Mínimo	0,0156	0,0482	0,0905	0,1190	0,1806	0,1554	0,0154	7,0294
		Máximo	0,0185	0,0560	0,1063	0,1323	0,2208	0,1976	0,0499	13,4947
Vulcanoclastitos basálticos e Carbonatitos ígneos	34	Média	0,0156	0,0495	0,0962	0,1387	0,1855	0,1429	0,0331	6,7097
		DP	0,0034	0,0061	0,0084	0,0120	0,0279	0,0255	0,0148	3,1909
		Mediana	0,0156	0,0498	0,0969	0,1389	0,1937	0,1506	0,0297	7,5138
		Mínimo	0,0085	0,0389	0,0790	0,1090	0,1265	0,0883	0,0096	0,0000
		Máximo	0,0241	0,0638	0,1164	0,1589	0,2248	0,1861	0,0768	13,1292

Tabela 4.4 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas de base - *continuação*.

Mantos e filões básicos e ultra-básicos	486	Média	0,0137	0,0441	0,0895	0,1279	0,1705	0,1296	0,0248	6,3465
		DP	0,0040	0,0063	0,0097	0,0138	0,0241	0,0216	0,0113	3,5865
		Mediana	0,0142	0,0435	0,0890	0,1290	0,1706	0,1285	0,0230	5,8322
		Mínimo	0,0028	0,0280	0,0531	0,0923	0,0964	0,0691	0,0038	0,0000
		Máximo	0,0326	0,0731	0,1437	0,1922	0,2850	0,2206	0,0787	23,2284

Na figura 4.2 está representada a reflectância da banda 5 (B5), que permite observar diferenças significativas entre diversas unidades litológicas. As unidades de Fonólitos e traquitos brechificados e de Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos distinguem-se na banda espectral, B7, mostrando diferenças em termos litológicos das unidades.

**Figura 4.2** – Espectros de reflectância – Unidades litológicas de base.

Seleccionou-se a combinação que funciona melhor devido às diferenças da banda 7 e 5 e semelhanças na banda 3 para as diferentes unidades. A banda 5 otimiza a separação entre as Brechas hialoclastíticas litificadas, as Brechas hialoclastíticas e as Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular, conforme se pode analisar pelos dados da tabela 4.5 e representados na figura 4.3.

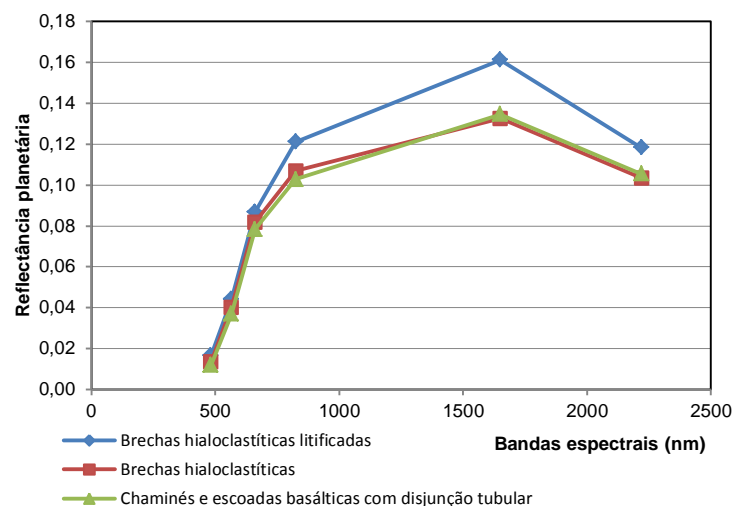


Figura 4.3 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas submarinas inferiores.

Tabela 4.5 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas submarinas inferiores.

Unidade litológica	N	Parâmetros estatísticos	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Range 5x5 Ls7 B7	Range 5x5 DEM
Brechas hialoclastíticas litificadas	6	Média	0,0166	0,0441	0,0869	0,1212	0,1613	0,1183	0,0233	9,4636
		DP	0,0026	0,0055	0,0074	0,0100	0,0169	0,0110	0,0123	1,5492
		Mediana	0,0163	0,0420	0,0847	0,1156	0,1556	0,1151	0,0269	9,9463
		Mínimo	0,0142	0,0389	0,0804	0,1123	0,1485	0,1074	0,0058	6,4745
		Máximo	0,0213	0,0529	0,1005	0,1356	0,1947	0,1381	0,0365	10,8042
Brechas hialoclastíticas	142	Média	0,0134	0,0402	0,0818	0,1069	0,1326	0,1034	0,0195	3,8356
		DP	0,0048	0,0062	0,0083	0,0130	0,0192	0,0154	0,0093	3,1535
		Mediana	0,0128	0,0404	0,0818	0,1056	0,1335	0,1026	0,0173	2,9327
		Mínimo	0,0057	0,0280	0,0603	0,0723	0,0884	0,0691	0,0058	0,0000
		Máximo	0,0312	0,0591	0,1020	0,1356	0,1706	0,1381	0,0576	21,7341
Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular	114	Média	0,0118	0,0368	0,0784	0,1028	0,1346	0,1054	0,0171	5,4914
		DP	0,0042	0,0058	0,0087	0,0128	0,0185	0,0153	0,0073	4,5975
		Mediana	0,0114	0,0358	0,0775	0,1023	0,1355	0,1055	0,0154	4,9975
		Mínimo	0,0000	0,0124	0,0373	0,0457	0,0422	0,0307	0,0058	0,0000
		Máximo	0,0284	0,0576	0,1077	0,1356	0,1686	0,1343	0,0499	41,2009

Com base na tabela 4.6, verifica-se que as bandas B3 e B5 são consideradas as mais adequadas em informação espectral para as unidades litológicas submarinas superiores (figura 4.4). Estas bandas apresentam valores superiores tendo em conta os parâmetros estatísticos.

Tabela 4.6 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas submarinas superiores.

Unidade litológica	N	Parâmetros estatísticos	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Range 5x5 Ls7 B7	Range 5x5 DEM
Basaltos maciços em rolos	3	Média	0,0350	0,0498	0,0660	0,0623	0,0656	0,0499	0,0531	2,8151
		Desvio Padrão	0,0397	0,0351	0,0158	0,0058	0,0334	0,0314	0,0363	0,8688
		Mediana	0,0128	0,0311	0,0660	0,0590	0,0763	0,0576	0,0691	2,4583
		Mínimo	0,0114	0,0280	0,0502	0,0590	0,0282	0,0153	0,0115	2,1816
		Máximo	0,0809	0,0903	0,0818	0,0690	0,0924	0,0767	0,0787	3,8055
Basaltos vesiculares em rolos	5	Média	0,0281	0,0417	0,0680	0,0703	0,0799	0,0622	0,0794	6,1846
		Desvio Padrão	0,0174	0,0122	0,0035	0,0102	0,0364	0,0320	0,0310	2,4947
		Mediana	0,0227	0,0358	0,0660	0,0690	0,0823	0,0710	0,0979	6,2098
		Mínimo	0,0142	0,0326	0,0646	0,0590	0,0382	0,0211	0,0345	2,4280
		Máximo	0,0568	0,0622	0,0718	0,0823	0,1185	0,0921	0,1055	9,3479

Analisando a figura 4.4, observa-se que os valores superiores e mais dissemelhantes são referentes à banda 5 (B5), que diz respeito ao teor em água da vegetação e humidade do solo, conduzindo à evidência de que as unidades dos Basaltos maciços em rolos e Basaltos vesiculares em rolos apresentam valores de bandas espectrais diferentes. Não foi possível a quantificação da unidade dos Basaltos maciços em rolos com carbonatos, por se localizarem numa área densamente urbanizada.

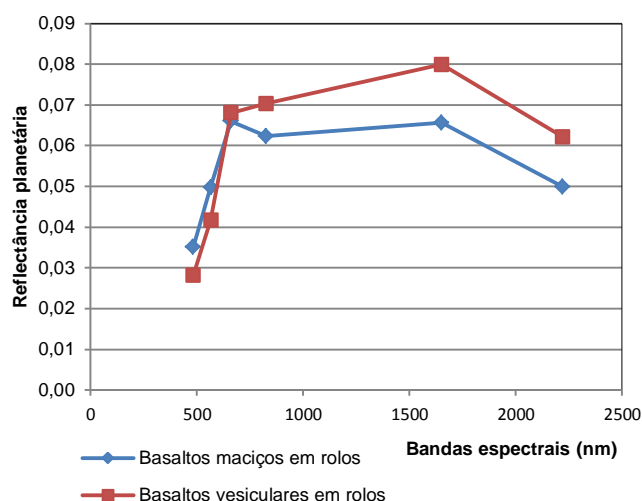


Figura 4.4 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas submarinas superiores.

Na tabela 4.7 são apresentados os dados relativos às unidades litológicas subaéreas, com projecção na figura 4.5. Conclui-se que com base na reflectância, os basaltos subaéreos se podem dividir em 2 grupos distintos tendo em conta os valores médios de reflectância da B5. Um primeiro grupo com valores superiores, que são os Basaltos olivínicos, amigdalóides, porfiríticos com bancadas de lapilli, vesiculares superiores, vesiculares intermédios e maciços (com maior representação na zona Norte da área de estudo). O segundo grupo é constituído pelos Basaltos com disjunção colunar, com disjunção esferoidal e Basaltos vesiculares inferiores (com maior representação na zona Sul da área).

Tabela 4.7 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas subaéreas.

Unidade litológica	N	Parâmetros estatísticos	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Range 5x5 Ls7 B7	Range 5x5 DEM
Basaltos amigdalóides	22	Média	0,0089	0,0374	0,0828	0,1215	0,1517	0,1141	0,0222	5,6072
		DP	0,0037	0,0058	0,0093	0,0118	0,0215	0,0195	0,0117	3,7675
		Mediana	0,0085	0,0373	0,0826	0,1223	0,1465	0,1113	0,0211	4,9194
		Mínimo	0,0028	0,0295	0,0675	0,0990	0,1164	0,0806	0,0077	1,4446
		Máximo	0,0199	0,0513	0,1034	0,1356	0,1967	0,1554	0,0576	16,1597
Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli	68	Média	0,0104	0,0372	0,0786	0,1149	0,1450	0,1082	0,0314	7,9696
		DP	0,0033	0,0054	0,0093	0,0113	0,0233	0,0198	0,0138	5,5110
		Mediana	0,0099	0,0373	0,0790	0,1156	0,1465	0,1065	0,0307	8,1268
		Mínimo	0,0014	0,0217	0,0560	0,0923	0,0924	0,0614	0,0077	0,0000
		Máximo	0,0185	0,0498	0,1005	0,1456	0,1907	0,1516	0,0652	20,3077
Basaltos vesiculares inferiores	20	Média	0,0198	0,0383	0,0715	0,0818	0,1041	0,0842	0,0304	4,8861
		DP	0,0093	0,0087	0,0133	0,0200	0,0356	0,0298	0,0292	2,6269
		Mediana	0,0170	0,0373	0,0732	0,0857	0,1154	0,0931	0,0163	4,3216
		Mínimo	0,0128	0,0249	0,0445	0,0357	0,0302	0,0211	0,0077	1,8470
		Máximo	0,0525	0,0622	0,0977	0,1090	0,1465	0,1209	0,0998	10,1179
Basaltos vesiculares intermédios	260	Média	0,0119	0,0379	0,0824	0,1034	0,1266	0,1009	0,0182	1,6570
		DP	0,0043	0,0056	0,0072	0,0133	0,0261	0,0204	0,0093	1,4619
		Mediana	0,0114	0,0373	0,0818	0,1023	0,1225	0,0978	0,0154	1,4141
		Mínimo	0,0014	0,0249	0,0617	0,0723	0,0803	0,0614	0,0058	0,0000
		Máximo	0,0270	0,0544	0,1020	0,1523	0,2087	0,1592	0,0652	12,3290
Basaltos vesiculares superiores	102	Média	0,0054	0,0315	0,0781	0,1092	0,1479	0,1162	0,0204	2,0599
		DP	0,0031	0,0046	0,0074	0,0114	0,0182	0,0157	0,0089	2,5853
		Mediana	0,0057	0,0311	0,0790	0,1123	0,1506	0,1170	0,0173	1,2583
		Mínimo	0,0000	0,0171	0,0545	0,0690	0,0924	0,0748	0,0058	0,0000
		Máximo	0,0128	0,0404	0,0919	0,1290	0,1887	0,1516	0,0441	15,5579
Basaltos maciços	50	Média	0,0124	0,0395	0,0826	0,1117	0,1514	0,1165	0,0276	5,9849
		DP	0,0035	0,0051	0,0075	0,0112	0,0202	0,0179	0,0149	4,1967
		Mediana	0,0114	0,0389	0,0833	0,1123	0,1526	0,1170	0,0240	5,1930
		Mínimo	0,0071	0,0311	0,0660	0,0923	0,1124	0,0806	0,0077	0,0000
		Máximo	0,0241	0,0560	0,1092	0,1423	0,2067	0,1650	0,0806	14,1576
Basaltos olivínicos	98	Média	0,0089	0,0360	0,0803	0,1192	0,1543	0,1138	0,0253	5,5886
		DP	0,0038	0,0060	0,0093	0,0119	0,0228	0,0196	0,0116	4,4918
		Mediana	0,0085	0,0358	0,0804	0,1190	0,1526	0,1151	0,0230	4,0572
		Mínimo	0,0014	0,0233	0,0588	0,0923	0,1024	0,0652	0,0096	0,0000
		Máximo	0,0185	0,0576	0,1077	0,1456	0,2288	0,1880	0,0710	19,1139

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Tabela 4.7 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas subaéreas – *continuação*.

Basaltos com disjunção esferoidal	106	Média	0,0156	0,0418	0,0865	0,1057	0,1242	0,0981	0,0214	1,7971
		DP	0,0045	0,0059	0,0086	0,0136	0,0242	0,0199	0,0111	2,2631
		Mediana	0,0156	0,0420	0,0869	0,1056	0,1185	0,0940	0,0192	1,2404
		Mínimo	0,0057	0,0295	0,0646	0,0757	0,0803	0,0614	0,0058	0,0000
		Máximo	0,0369	0,0685	0,1178	0,1489	0,2047	0,1746	0,0633	18,3008
Basaltos com disjunção colunar	29	Média	0,0178	0,0426	0,0850	0,1018	0,1259	0,1013	0,0212	4,9789
		DP	0,0042	0,0057	0,0086	0,0097	0,0136	0,0123	0,0107	5,5032
		Mediana	0,0170	0,0420	0,0833	0,0990	0,1245	0,1017	0,0192	2,7751
		Mínimo	0,0099	0,0326	0,0646	0,0757	0,0864	0,0671	0,0038	0,3889
		Máximo	0,0284	0,0576	0,1092	0,1256	0,1566	0,1305	0,0461	23,0196
Basaltos maciços	50	Média	0,0124	0,0395	0,0826	0,1117	0,1514	0,1165	0,0276	5,9849
		DP	0,0035	0,0051	0,0075	0,0112	0,0202	0,0179	0,0149	4,1967
		Mediana	0,0114	0,0389	0,0833	0,1123	0,1526	0,1170	0,0240	5,1930
		Mínimo	0,0071	0,0311	0,0660	0,0923	0,1124	0,0806	0,0077	0,0000
		Máximo	0,0241	0,0560	0,1092	0,1423	0,2067	0,1650	0,0806	14,1576
Basaltos olivínicos	98	Média	0,0089	0,0360	0,0803	0,1192	0,1543	0,1138	0,0253	5,5886
		DP	0,0038	0,0060	0,0093	0,0119	0,0228	0,0196	0,0116	4,4918
		Mediana	0,0085	0,0358	0,0804	0,1190	0,1526	0,1151	0,0230	4,0572
		Mínimo	0,0014	0,0233	0,0588	0,0923	0,1024	0,0652	0,0096	0,0000
		Máximo	0,0185	0,0576	0,1077	0,1456	0,2288	0,1880	0,0710	19,1139
Basaltos com disjunção esferoidal	106	Média	0,0156	0,0418	0,0865	0,1057	0,1242	0,0981	0,0214	1,7971
		DP	0,0045	0,0059	0,0086	0,0136	0,0242	0,0199	0,0111	2,2631
		Mediana	0,0156	0,0420	0,0869	0,1056	0,1185	0,0940	0,0192	1,2404
		Mínimo	0,0057	0,0295	0,0646	0,0757	0,0803	0,0614	0,0058	0,0000
		Máximo	0,0369	0,0685	0,1178	0,1489	0,2047	0,1746	0,0633	18,3008
Basaltos com disjunção colunar	29	Média	0,0178	0,0426	0,0850	0,1018	0,1259	0,1013	0,0212	4,9789
		DP	0,0042	0,0057	0,0086	0,0097	0,0136	0,0123	0,0107	5,5032
		Mediana	0,0170	0,0420	0,0833	0,0990	0,1245	0,1017	0,0192	2,7751
		Mínimo	0,0099	0,0326	0,0646	0,0757	0,0864	0,0671	0,0038	0,3889
		Máximo	0,0284	0,0576	0,1092	0,1256	0,1566	0,1305	0,0461	23,0196

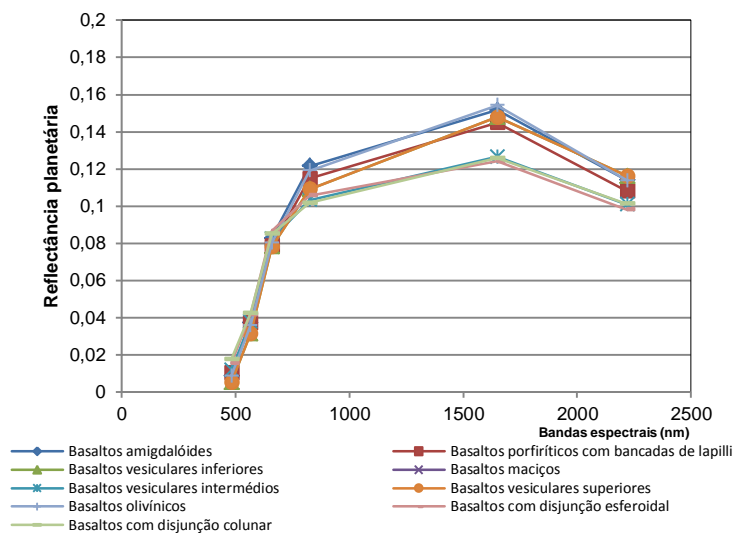


Figura 4.5 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas subaéreas.

Os parâmetros estatísticos relativos aos produtos piroclásticos estão representados na tabela 4.8, com projecção na figura 4.6.

Tabela 4.8 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades piroclásticas.

Unidade litológica	N	Parâmetros estatísticos	B1	B2	B3	B4	B5	B7	Range 5x5 Ls7 B7	Range 5x5 DEM
Depósitos de lapilli estratificados	47	Média	0,0121	0,0379	0,0840	0,1093	0,1433	0,1176	0,0435	2,9294
		DP	0,0058	0,0090	0,0112	0,0151	0,0236	0,0209	0,0245	2,9432
		Mediana	0,0099	0,0373	0,0818	0,1123	0,1485	0,1170	0,0365	1,9470
		Mínimo	0,0057	0,0249	0,0646	0,0757	0,0924	0,0767	0,0096	0,0000
		Máximo	0,0355	0,0716	0,1207	0,1423	0,1827	0,1554	0,0979	11,5179
Depósitos de lapilli litificados	10	Média	0,0051	0,0272	0,0662	0,0783	0,0988	0,0790	0,0382	8,1315
		DP	0,0033	0,0066	0,0146	0,0204	0,0332	0,0256	0,0158	7,7945
		Mediana	0,0071	0,0287	0,0696	0,0807	0,0984	0,0777	0,0384	4,8887
		Mínimo	0,0000	0,0124	0,0387	0,0424	0,0422	0,0364	0,0096	1,9524
		Máximo	0,0085	0,0373	0,0876	0,1123	0,1485	0,1209	0,0614	24,5148
Depósitos escoriáceos grosseiros	28	Média	0,0080	0,0317	0,0761	0,0970	0,1675	0,1455	0,0790	12,2137
		DP	0,0049	0,0093	0,0159	0,0238	0,0650	0,0604	0,0416	6,9573
		Mediana	0,0085	0,0311	0,0747	0,0973	0,1596	0,1401	0,0768	12,5205
		Mínimo	0,0000	0,0108	0,0445	0,0523	0,0683	0,0556	0,0249	0,0000
		Máximo	0,0170	0,0467	0,1034	0,1356	0,3010	0,2705	0,1708	29,3701

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Observa-se uma notável diferenciação entre as unidades dos piroclastos, essencialmente nas B5 e B7, sobretudo entre as unidades depósitos de lapilli estratificados e depósitos de lapilli litificados, concluindo-se assim que são unidades litológicas distintas.

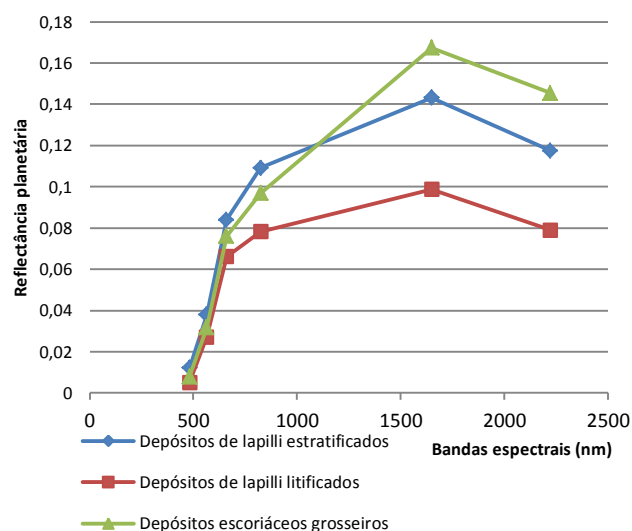


Figura 4.6 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas piroclásticas.

Apresentam-se seguidamente os dados estatísticos que dizem respeito às unidades litológicas de natureza sedimentar, antigas e recentes, na tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas sedimentares.

Unidade litológica	N	Parâmetros estatísticos	B2	B3	B4	B5	B7	Range 5x5 Ls7 B7	Range 5x5 DEM
Depósitos aluvionares	41	Média	0,0443	0,0865	0,1259	0,1554	0,1166	0,0256	3,5789
		DP	0,0065	0,0091	0,0149	0,0191	0,0140	0,0122	5,2301
		Mediana	0,0435	0,0876	0,1290	0,1586	0,1209	0,0230	2,4062
		Mínimo	0,0280	0,0617	0,0723	0,0884	0,0671	0,0096	0,0000
		Máximo	0,0576	0,1049	0,1456	0,1867	0,1420	0,0825	30,0262
Depósitos de cascalheiras	52	Média	0,0441	0,0871	0,1222	0,1588	0,1234	0,0254	2,4620
		DP	0,0064	0,0086	0,0152	0,0184	0,0151	0,0141	2,0943
		Mediana	0,0435	0,0862	0,1223	0,1576	0,1228	0,0221	1,8698
		Mínimo	0,0326	0,0718	0,0956	0,1144	0,0921	0,0096	0,0000
		Máximo	0,0591	0,1106	0,1556	0,2107	0,1612	0,0902	11,3444

Tabela 4.9 - Parâmetros estatísticos das bandas espectrais das unidades litológicas sedimentares-continuação.									
Materiais detríticos grosseiros de vertente	71	Média	0,0393	0,0800	0,1145	0,1395	0,1032	0,0217	8,1446
		DP	0,0053	0,0085	0,0143	0,0199	0,0157	0,0106	2,8961
		Mediana	0,0404	0,0818	0,1156	0,1405	0,1055	0,0192	7,2690
		Mínimo	0,0280	0,0617	0,0857	0,0944	0,0652	0,0038	2,1741
		Máximo	0,0513	0,0962	0,1456	0,1806	0,1324	0,0614	16,1415
Calcários com bioclastos	11	Média	0,0406	0,0825	0,1196	0,1518	0,1118	0,0222	7,6912
		DP	0,0051	0,0090	0,0196	0,0251	0,0183	0,0090	6,8654
		Mediana	0,0420	0,0847	0,1290	0,1646	0,1190	0,0192	4,7614
		Mínimo	0,0311	0,0646	0,0823	0,1084	0,0787	0,0096	1,3193
		Máximo	0,0467	0,0919	0,1389	0,1806	0,1324	0,0384	22,2644
Depósitos conglomeráticos estratificados	2	Média	0,0350	0,0718	0,1256	0,1365	0,0959	0,0384	5,3886
		DP	0,0055	0,0122	0,0236	0,0142	0,0217	0,0163	7,6206
		Mediana	0,0350	0,0718	0,1256	0,1365	0,0959	0,0384	5,3886
		Mínimo	0,0311	0,0632	0,1090	0,1265	0,0806	0,0269	0,0000
		Máximo	0,0389	0,0804	0,1423	0,1465	0,1113	0,0499	10,7772

Conforme se pode observar na figura 4.7, quanto aos dados de reflectância das diversas bandas espectrais, a banda 5 (B5) é a que melhor traduz as diferenças de reflectância. Observam-se dois agrupamentos, um grupo com valores mais elevados constituído por Depósitos de cascalheiras, Depósitos aluvionares e calcários com bioclastos. Outro grupo assumido pelos Materiais detríticos grosseiros de vertente e Depósitos conglomeráticos estratificados.

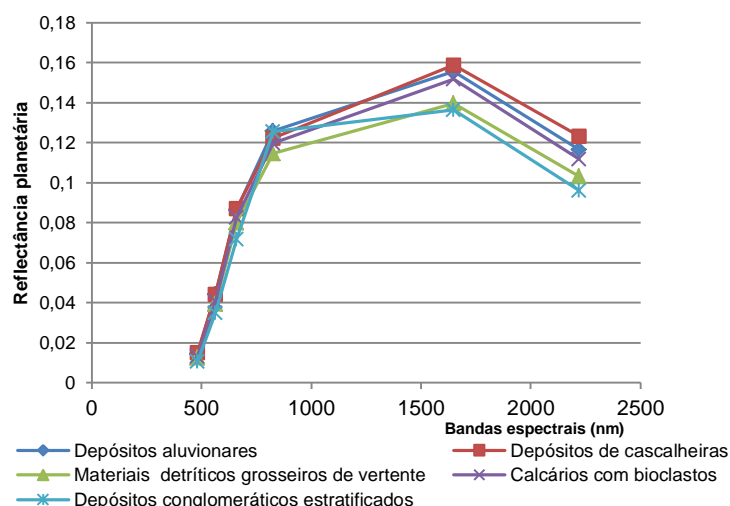


Figura 4.7 - Espectros de reflectância – Unidades litológicas sedimentares.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

A figura 4.8 resulta da combinação das bandas espectrais 6,7 e 3. A composição colorida resulta da combinação da banda térmica (banda 6) e do SWIR (*short wave infrared*; banda 7). As diferenças de temperatura da superfície acabam por ser denunciadas pelas tonalidades vermelhas, permitindo uma diferenciação das unidades consistente com a cartografia.

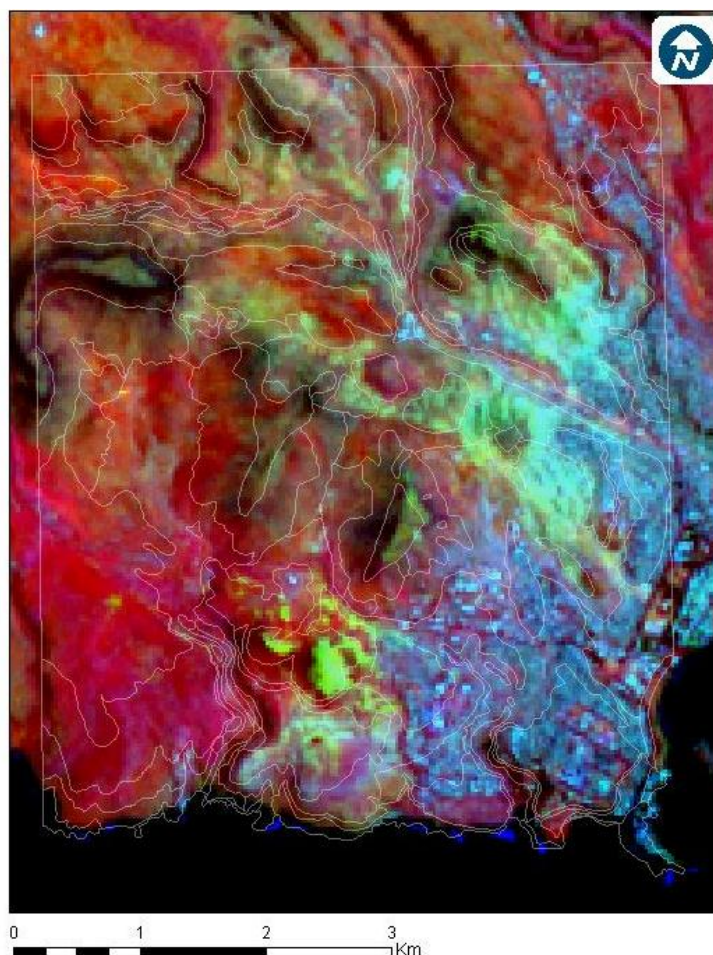


Figura 4.8 – Combinação de bandas espectrais 6,7 e 3.

Em síntese pode-se explicar que as características espectrais dos materiais da área de estudo permitiram salientar os contrastes entre as diferentes unidades. Observam-se semelhanças entre os Fonólitos e traquitos brechificados com os Gabros olivínicos e sienitos feldspatoidícos e diferenças espectrais entre os Vulcanoclástitos basálticos e os carbonatitos ígneos com os Mantos e filões básicos e ultra-básicos; evidenciam-se as semelhanças das Chaminés e escoadas com disjunção tubular com as Brechas hialoclastíticas.

Os basaltos subáereos apresentam diferenças em termos de características espectrais, especialmente os Basaltos olivínicos, amigdalóides, porfiríticos com bancadas de lapilli, vesiculares superiores, vesiculares intermédios e maciços que constituem um primeiro grupo, com um segundo grupo constituído pelos Basaltos com disjunção colunar e com

disjunção esferoidal e igualmente com um terceiro grupo constituído basaltos vesiculares inferiores.

Observa-se uma notável diferenciação entre as unidades dos piroclastos, especialmente na Banda 5 (B5) e nas unidades sedimentares com dois agrupamentos, um grupo constituído por Depósitos de cascalheiras, Depósitos aluvionares e calcários com bioclastos e, outro grupo assumido pelos Materiais detriticos grosseiros de vertente e Depósitos conglomeráticos estratificados.

4.1.2 Alinhamentos estruturais maiores

Os trabalhos de campo evidenciaram a existência de inúmeros alinhamentos estruturais maiores que condicionavam a expressão superficial das diferentes unidades litológicas e que permitiam, simultaneamente, interpretar a relação geométrica entre os diferentes volumes líticos. Foi assim realizado um inventário de campo dos principais alinhamentos estruturais, a partir de observações directas de planos de falha, de superfícies de descontinuidade e do movimento relativo entre blocos, a partir da inferição dos contactos entre volumes líticos contrastantes, ou da interpretação de formas superficiais como alinhamento de linhas de água, quebras morfológicas ou orientação rectilínea de vertentes.

A relevância deste levantamento fez ressaltar algumas das relações geométricas entre unidades e interpretar a organização relativa entre corpos, mas simultaneamente interpretar alguns dos ensaios de caracterização *in situ* e de laboratório, dado que alguns dos materiais amostrados se localizam na proximidade de alinhamentos estruturais maiores, onde se assiste frequentemente a uma degradação das características de estado *in situ* dos materiais, como salientado por Tavares (1999).

De seguida apresentam-se os resultados das observações de campo e estudos de laboratório tendentes a identificar e localizar as principais famílias de fracturas presentes na região da Praia, sendo de notar que na cartografia geológica original de A. Serralheiro (1976) não se encontram assinaladas fracturas.

No campo reconhecem-se com frequência a presença de alinhamentos estruturais, através da observação de caixa de falha, rejeitos de contactos geológicos, estrias de plano de falha e fendas de tracção e descontinuidades (Victória, 2006). As caixas de falha podem traduzir zonas de esmagamento do material rochoso ou de cisalhamento das argilas resultantes da alteração da maior parte das rochas, observando-se tectonitos em zonas pontuais (e.g. estrada da Calabaceira – Trindade). Encontram-se também filões e chaminés encaixantes bastante desmantelados, e nalgumas zonas pequenas micro-dobras associadas ao movimento de deslocação dos blocos afectados pelas falhas.

A observação dos filões permitiu ainda reconhecer alinhamentos preferenciais, geralmente N60°E e N40°W; outros sistemas fazem com estes alinhamentos ângulos próximos de 45°, como é o caso da família de filões com direcção E-W; subverticais. Foi ainda possível observar-se alinhamentos estruturais dominados pelas direcções N40°-45°W, N70°-80°W, N-S e N20°E. As estruturas principais observadas comportam -se como falhas de desligamento esquerdas ou como falhas normais.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Passa-se seguidamente a uma descrição generalizada das estações de campo em que foi possível observar estes elementos estruturais, os quais apresentam relevância na expressão superficial e volumetria das unidades litológicas da área de estudo.

No local de São Martinho Pequeno (na estrada que dá acesso à Ribeira Grande - Cidade Velha) com as coordenadas $N14^{\circ}55'40,52''$, $W23^{\circ}34'17,1''$ e a uma altitude de 100m, observa-se uma caixa de falha afectando a unidade das Brechas hialoclastíticas com a espessura de 6 m, com atitude $N45^{\circ}W$; $90^{\circ}SE$; trata-se de uma falha normal com rejecto horizontal e vertical. Associado existe um filão de natureza basáltica com a mesma atitude que a falha, com possança de 1m, que sofreu uma flexura, acompanhando o desenvolvimento da falha na parte superficial do talude (figura 4.9). O material que preenche a caixa de falha encontra-se bastante alterado sob a forma de materiais finos, argilosos.

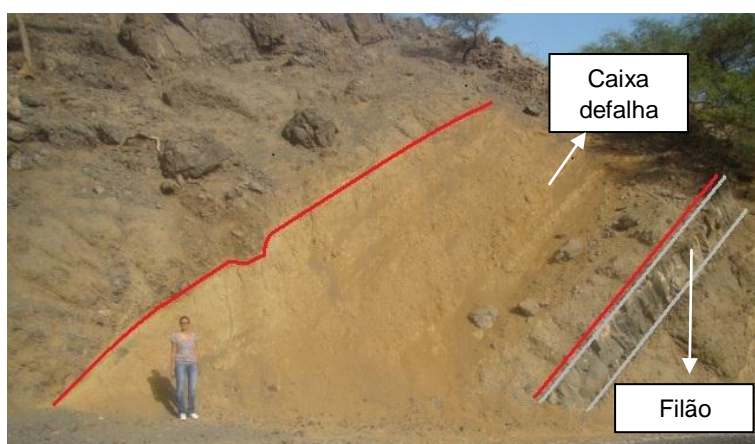


Figura 4.9 - Caixa de falha – São Martinho Pequeno.

Na Circular Sul da cidade da Praia, no talude da rotunda que dá acesso à Trindade, nas coordenadas $N14^{\circ}56'35,5''$, $W23^{\circ}32'39,1''$, a altitude aproximada de 165 m, nas proximidades do Vazadouro da Caiada, existe uma falha de desligamento esquerdo afectando a unidade Mantos e filões básicos e ultra-básicos, de atitude N-S, com aproximadamente 14 m de extensão visível na figura 4.10.

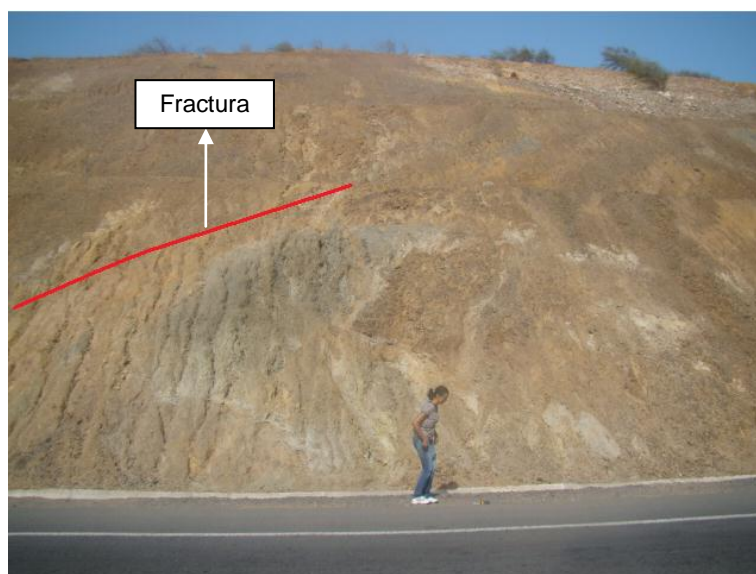


Figura 4.10 - Fractura – Circular Sul (Praia).

No talude de estrada de Pensamento, nas coordenadas N14°56'14,6'', W23°31'38,8'' a uma altitude de cerca de 149 m, observa-se um sistema de falhas, com atitude N70°-80°W, vertical com movimentação normal, e rejeito vertical. A orientação acompanha parcialmente a estrada, observando-se o plano de desligamento. Este plano é interceptado por filões sub-verticais e com possança de 1-1,5 m (figura 4.11).

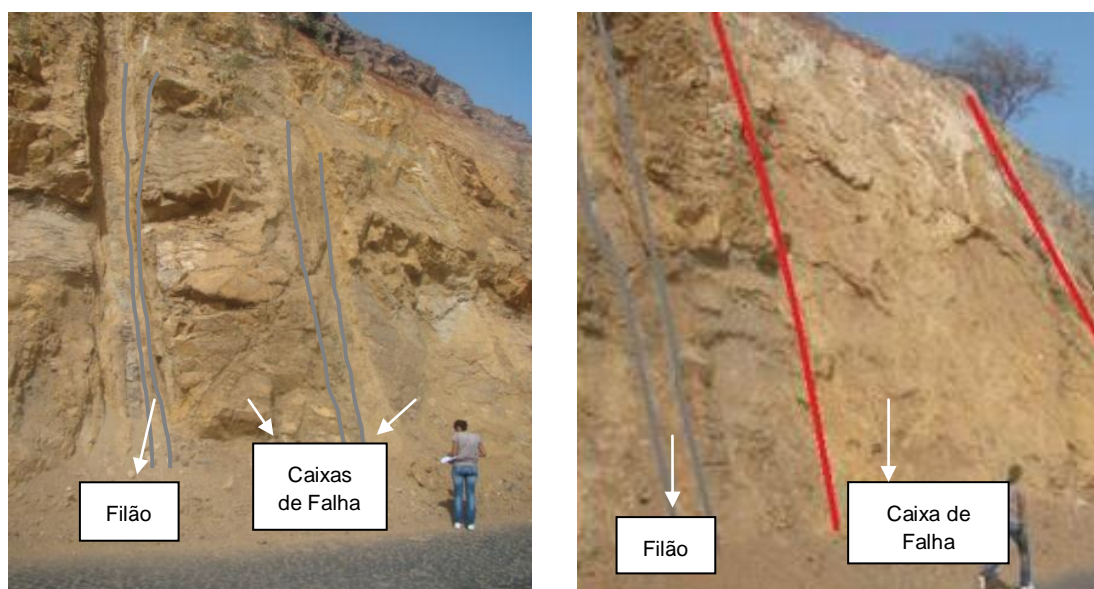


Figura 4.11 - Representação de caixas de falhas separadas por filões – Pensamento.

A altura do talude é de aproximadamente 8-10 m, sobrepondo-se na parte superior um nível metamorfozizado com 50 cm de espessura e uma sucessão de basaltos com disjunção esferoidal, com cerca de 2 m de espessura (figura 4.12).



Figura 4.12 - Nível metamorfozido a separar Mantos e filões básicos e ultra-básicos dos Basaltos com disjunção esferoidal.

No Monte Pensamento com as coordenadas N14°55'47,6'', W23°31'14,2'', a uma altitude aproximada de 127 m, existe uma falha com movimentação normal (figura 4.13), de rejeito horizontal com cerca de 1 m, com atitude N20°E; 45°SW.



Figura 4.13 - Falha com movimentação normal – Monte Pensamento.

No mesmo local, existe uma falha conjugada com atitude N20°W; 90°SE, de movimentação normal e rejeito horizontal, a que se associa um filão com cerca de 70 cm espessura.

A Norte de Monte Gato Valente (a NW de Monte Babosa), com as coordenadas: N14°55'53,8'', W23°32'00,7'', a uma altitude de 111 m, é possível inferir um contacto

cartográfico por falha entre as duas unidades Mantos e filões básicos e ultra-básicos e Basaltos porfíricos (figura 4.14), em que o plano de falha tem a atitude de N40°W; vertical, com movimentação normal e rejeito horizontal.



Figura 4.14 - Contacto por falha – Norte do Monte Gato Valente.

Na Ribeira do Palmarejo Grande (figura 4.15), nas coordenadas de observação: N14°55'55,1'', W23°32'31,7'' e a uma altitude de 39 m, é possível observar dois alinhamentos estruturais, inferidos por evidências geomorfológicas, com atitudes de N40°E e N40°W. Estes elementos originam uma estrutura em *horst* e *graben* com elevação da unidade Basaltos com disjunção colunar em relação à unidade Chaminés e escoadas com disjunção tubular.



Figura 4.15 - Dois sistemas de falha, que originaram um estrutura em *horts* e *graben*, Ribeira do Palmarejo Grande.

Os estudos de prospecção geofísica realizados por Lima (2008), no vale da Ribeira do Palmarejo Grande, situada entre a Achada do Palmarejo e o Monte Vermelho, puseram em evidência rupturas transversais, aparentemente percoladas por água, com direcções NW-SE e NE-SW, cujos alinhamentos estruturais seguem a orientação geral das duas principais elevações; rupturas como esta última orientação atravessam a área de estudo e parecem condicionar alguns troços da Ribeira do Palmarejo Grande, nomeadamente a sua porção final.

Em Simão Ribeiro/Pensamento, nas coordenadas N14°56'0,20'', W23°31'28,2'', a uma altitude próxima de 90 m, num afloramento de Gabros olivínicos e sienitos

feldspatoídicos, é possível observar um espelho de falha (figura 4.16), de movimento vertical, e atitude N20°E; 70°-80°SE.



Figura 4.16 - Espelho de falha – Simão Ribeiro/Pensamento.

Na Circular Sul da Praia/Caiada, com as coordenadas N14°56'03,72'', W23°32'53,39'', a uma altitude de 99 m, nas proximidades do Vazadouro Municipal da Praia, a Norte do Monte Saco, existe uma evidência geomorfológica de plano de falha com atitude N70-80°W; 60-70°S. Este alinhamento de falha parece ser o mesmo que passa pelas zonas de Monte Saco/Gato Valente, no talude de estrada de Pensamento. A falha neste local tem uma extensão horizontal visível de 70 m e 3 m de espessura vertical (figura 4.17).

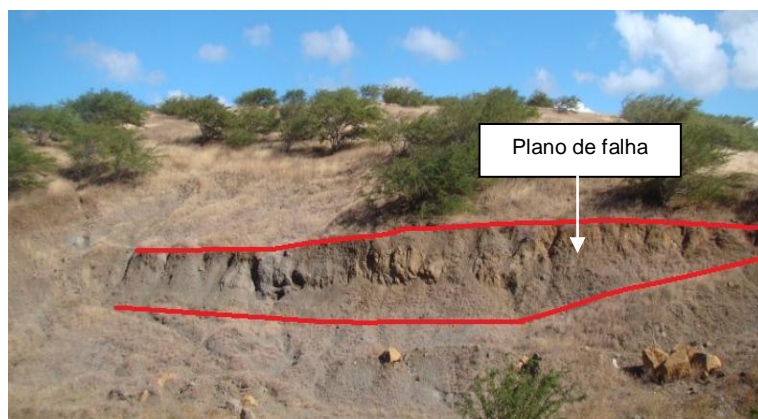


Figura 4.17 - Evidência geomorfológica de plano de falha, Circular Sul/Caiada

Na estrada do Aeroporto da cidade da Praia, Achada Grande Frente, com as coordenadas N14°55'23,4'', W23°29'57,5'', a uma altitude próxima de 53 m, é possível observar um plano de falha, com atitude N20°E; 45°SW, apresentando um rejeito com cerca de 70 cm. O plano de falha (figura 4.18) mostra a movimentação dos conglomerados antigos relativamente à unidade Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

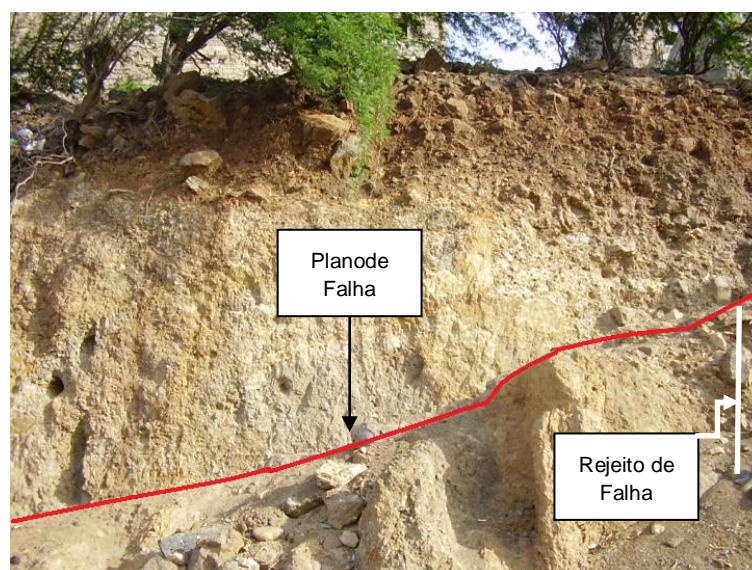


Figura 4.18 - Plano e rejeito de falha – Achada Grande Frente.

Em Santaninha/Terra Branca, com as coordenadas $N14^{\circ}55'18,34''$, $W23^{\circ}31'06,55''$, a uma altitude de 32 m, numa linha de água, existe um contacto por falha do tipo inversa, entre as unidades Mantos e filões básicos e ultra-básicos e as Brechas hialoclastíticas (figura 4.19), com movimento vertical. A falha apresenta direcção $N40^{\circ}W$ e inclinação $40^{\circ}S$. O material apresenta-se bastante alterado e deformado. A fractura pode ser seguida de um lado e outra da margem da linha de água e apresenta uma caixa vertical com cerca de 4,5 m e 15 m de extensão horizontal visível.



Figura 4.19 – Falha inversa com movimento vertical – Santaninha/Terra Branca.

Na Estrada do Porto da Praia, Achada Grande Frente, com as coordenadas $N14^{\circ}55'05,8''$, $W23^{\circ}30'11,4''$ e a uma altitude próxima de 16 m, é possível observar uma caixa de falha (figura 4.20) em que o material encontra-se muito alterado, com argila tectonizada. O plano de falha apresenta atitude $N20^{\circ}W$; $80^{\circ}NW$ e com extensão visível de 5,60 m.



Figura 4.20 - Caixa de falha – Achada Grande Frente.

A caixa de falha observada é de grande dimensão e marca o contacto entre domos da unidade Mantos e filões básicos e ultra-básicos; apresenta-se preenchida por material argiloso (com cores avermelhadas e amareladas), com veios ferruginosos a preencher fracturas secundárias; observando-se ainda no caminho um corpo intrusivo (chaminé ou domo) fonolítico com forma cónica, bem como diversas outras fracturas menores.

Na Chã de Areia/Prainha, com as coordenadas N14°54'30,8'', W23°30'41,2'', a uma altitude próxima de 5 m, observam-se estrias de deformação no contacto (figura 4.21), entre as unidades Mantos e filões básicos e ultra-básicos e as Brechas hialoclastíticas. O plano de falha apresenta direcção N-S e inclinação 45°SW.



Figura 4.21 - Estrias de deformação – Chã de Areia/Prainha.

As observações agora apresentadas permitiram construir um sistema de orientações estruturais maiores, patente na carta de unidades litológicas apresentada na figura 4.1, estabelecendo relações geométricas e de representação entre unidades.

4.2 Descrição das unidades litológicas

A ilha de Santiago, assim como a maioria das ilhas caboverdianas, são constituídas quase exclusivamente por rochas, estruturas e morfologias de origem vulcânica, aparecendo ainda representadas, com um volume relativo muito reduzido, rochas de natureza detrítica, cuja origem decorre sobretudo da meteorização dos vulcanitos que afloram. Neste capítulo procura-se fazer a caracterização dos dois tipos de rochas da área de estudo, sendo dada ênfase às de natureza vulcânica devido ao seu domínio na expressão das unidades litológicas consideradas.

A definição de unidades litológicas baseou-se em critérios vulcanogenéticos (Azevedo, 2001), nomeadamente no tipo de vulcanismo – subaéreo ou submarino e emergente. Sendo óbvio que a maioria dos edifícios insulares de natureza vulcânica resultou de processos vulcanogenéticos inicialmente submarinos e posteriormente emergentes, e que nos domínios emersos daquele edifício nem sempre ocorrem registos de todas as fases do processo; a sua eventual ocorrência está condicionada pela evolução geomorfológica e geotectónica específica de cada ilha, bem como das variações eustáticas do nível médio da superfície da água do mar nos domínios envolventes.

A evolução geomorfológica e neotectónica da ilha de Santiago, onde se inclui a área de estudo, bem como as variações do nível médio da superfície da água do mar no Atlântico Norte, possibilitou a presença nos domínios subaéreos actuais de vulcanitos resultantes das três formas de actividade vulcânica (Havaiano, Estromboliano e Peleano), que compreendem todas as formações e estruturas vulcânicas formadas a partir do vulcanismo insular, ou seja, resultantes da actividade vulcânica subaérea. Estas formas de actividade também permitiram a formação de vulcanoclastitos que incluem todas as formações e estruturas vulcânicas resultantes do vulcanismo proto-insular, isto é, resultantes de actividade vulcânica submarina e emergente.

Este registo de formações e materiais vulcânicos permitiram a individualização de 30 unidades litológicas. A definição das unidades litológicas envolveu essencialmente os seguintes aspectos:

- 1º) Geocronostratigráficos relativos, baseados na cartografia geológica geral, na escala 1:25.000, e restrita, na escala 1:10.000, ou seja, na determinação das relações estratigráficas e particularmente na distribuição espacial, lateral e vertical, bem como nas relações geométricas entre unidades.
- 2º) Vulcanológicos, baseados fundamentalmente na interpretação da fácies vulcanogenética, que é inferida a partir da litofácies primária.
- 3º) Alterações supergénicas e pedológicas, assentes na interpretação da litofácies secundária.

A caracterização das diversas litofácies primárias apresentadas pelas rochas vulcânicas, que constituem as Unidades, têm como primeiro objectivo a definição da fácies vulcanogenética de cada vulcanito. Efectua-se, fundamentalmente, segundo os seguintes níveis: (1) caracterização petrográfica e mineralógica (natureza litológica) (2) definição da estrutura litológica, indicando a estrutura ou disjunção, espessura, estratificação,

descontinuidades (3) indicação das características de estado *in situ*, isto é, grau de alteração, de fracturação e resistência à percussão.

Obviamente, em função da natureza textural-estrutural do vulcanito, isto é, tratando-se de uma rocha lávica (*coherent volcanic*) ou de uma rocha vulcanoclástica, (rocha constituída por fragmentos de origem vulcânica, independentemente da sua origem ser piroclástica, autoclástica ou epiclástica). Os diversos aspectos litológicos recebem maior ou menor enfoque; por exemplo, a caracterização da natureza incide principalmente sobre as rochas lávicas, enquanto a identificação da estrutura interna efectua-se sobretudo nas formações vulcanoclásticas.

A caracterização da litofácies secundária passa sobretudo pela determinação da alteração, a nível textural-estrutural.

Na figura 4.22 são representadas as unidades litológicas consideradas, utilizando a sistemática de McPhie *et al.* (1993), descrita na metodologia. De acordo com esta classificação as unidades presentes na área de estudo têm características efusivas sob a forma de fluxos de lava (dezassete unidades) e depósitos piroclásticos explosivos (três unidades). Aparecem ainda representados depósitos autoclásticos (consideradas duas unidades) que originaram acumulações sob a forma de brechas (Brechas hialoclastíticas e Brechas hialoclastíticas litificadas), ou os resultantes de resedimentação (Depósitos de cascalheiras, Materiais detríticos grosseiros de vertente e Depósitos aluvionares).

Passa-se agora a descrever as diferentes unidades litológicas, referenciando a expressão cartográfica de superfície e a espessura estimada na área de estudo. Apresentam-se igualmente as unidades consideradas equivalentes de acordo com outros autores, nomeadamente A. Serralheiro (1976) e M. Alves *et al.* (1979). A descrição das diferentes unidades inclui ainda uma descrição da natureza e estrutura lítica, a partir dos dados de campo, complementada por elementos de textura e composição que permitem diferenciar macroscopicamente os diferentes materiais; complementam-se as descrições com as descrições das características de estado *in situ*.

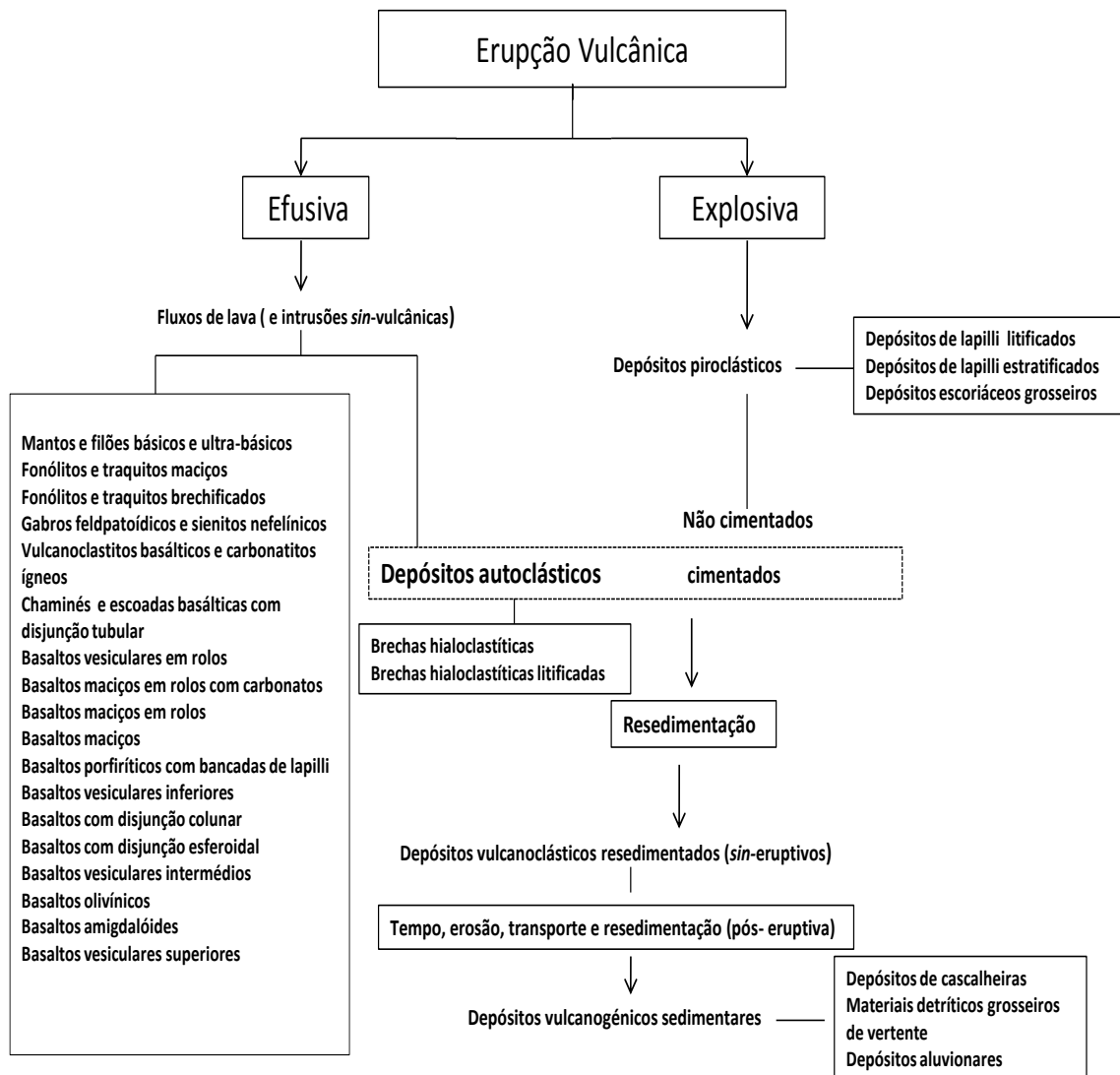


Figura 4.22 - Unidades litológicas segundo a sistemática de McPhie *et al.* (1993).

4.2.1 Mantos e filões básicos e ultra-básicos

Expressão cartográfica

Com uma expressão de 8,07 km², representa a maior unidade aflorante da área de estudo; a expressão volumétrica varia com espessuras entre 2-2,5 m a 40 m.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente ao Complexo filoniano de base, de natureza essencialmente basáltica, na descrição de A. Serralheiro (1976). Segundo o autor este Complexo é constituído por mantos de basaltos e outras rochas afins a que se associam filões de natureza básica, de ankaratritos e de limburgitos. Ocorrem geralmente em vales largos e encostas geralmente de pendor acentuado.

Natureza litológica

As observações fizeram salientar uma natureza arenítica grosseira a micro-arenítica, existindo alguns afloramentos já bastante alterados em que os materiais apresentam uma matriz pelítica de natureza basáltica e/ou fonolítica, com cor clara, castanha-alaranjada a laranja-avermelhada, localmente amarela-alaranjada a esbranquiçada, representando 70-90%. Esta unidade é atravessada por vários filões e domos essencialmente basálticos e/ou fonolíticos, de cor castanha escura, por vezes com tons castanhos e alaranjados.

Frequentemente a alteração dos materiais filoneanos e dos domos é relevante, não permitindo individualizá-los dos materiais adjacentes e distinguir qualquer estrutura.

Esta unidade genericamente apresenta no topo uma lentícula conglomerática consolidada com uma espessura de cerca de 50-60 cm, com calhaus de natureza basáltica e/ou fonolítica, os quais aparecem dispersos numa matriz com textura afanítica e micro-fanerítica, de cor negra e castanha escura a castanha amarelada a alaranjada. Os calhaus basálticos presentes são genericamente angulosos a sub-angulosos, com dimensões médias de 2-20 cm, embora apresentando 30-40 cm de diâmetro máximo e alguns calhaus podendo atingir 80-120 cm, representam 20-30% do volume do corpo lítico.

Os filões presentes contêm minerais de olivinas e piroxenas (porfíricos), por vezes os bordos são afíricos. Pontualmente, nalgumas zonas os filões apresentam minerais de biotite que podem atingir 1-2 cm de dimensão máxima.

Estrutura litológica

Os planos de estratificação principais apresentam direcções dominantes de N20°W; 30°-45°SW, N10°-20°E; 60°SW, N-S; 45°-60°W a sub-horizontal, N80°W; 78°SSW, N40°W; sub-horizontal, N70°W; 70°SW. Na estrada da Chã de Areia/ Prainha e em Eugénio Lima, observam-se estrias em zonas preferenciais de contacto entre a unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos e a unidade Brechas hialoclastíticas litificadas.

Nalgumas zonas é possível observar filões com direcções genéricas de N45°-60E; 60°SSE ou com direcções preferenciais de N20°W, N25°W;70°SW ou 45°NE e N40°W;50°-85°SW a sub-verticais, N10°E; 60°SSE e N-S; 60°WNW.

Os filões apresentam possança média de 0,5 m, mas podendo atingir possança máxima entre 1 m e 1,70 m, nunca ultrapassando os 2 m; os domos podem atingir os 3-4 m de possança (Terra Branca), intersectando-se. Aparecem ainda representados outros filões de menor possança, entre 20-30 cm a 1-2 m e com atitude E-W, sub-vertical. Podem apresentar descontinuidades em várias direcções, com 1-1,5 cm de espaçamento (E5).

Características de estado *in situ*

Os afloramentos desta unidade apresentam localmente aspectos indiciando maior humidade relativa dos materiais, nomeadamente nos locais com maior grau de alteração. O grau de alteração genérico patenteado pelos materiais em afloramento é W4,5 (muito alterado a completamente alterado ou solo residual). Localmente observam-se filões mais conservados, com grau de alteração W3,4 (moderadamente a muito alterado), diferenciando-se dos materiais encaixantes mais alterados. À percussão ao martelo, os materiais mais alterados apresentam-se friáveis e os filões mais conservados respondem como pouco compactos a medianamente compactos.

Alguns aspectos locais podem ser salientados, como o apresentado na estrada Calabaçeira-Trindade, em que se observam filões cataclastizados, demonstrando esmagamento por acção tectónica (cisalhamento). Estas evidências sugerem a existência de falhas, com rejogo de blocos superior a 10 m. Observam-se nesta zona também estrias de plano de falha e fendas de tracção (tectonitos).

Ainda na Ribeira de Laranjo, a Norte do Monte Gonçalo Afonso, é possível observar afloramentos bastante desmantelados por acção tectónica, relacionada com uma falha principal de direcção NW-SE, na qual o material está muito pulverizado.

Na tabela 4.10 ilustra-se a amostragem referente a esta unidade, cuja caracterização se baseou na observação de 9 perfis.

Tabela 4.10 - Amostragem da unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Perfis	Amostragem
F12A	S62, G62,L38; S38, G38, L39
F12B	S21,G21,L40; S7,G7,L41
F13	S52, G52, L44; S2, G2, L45.
F14A	S36, G36,L46,R14; S57,G57,L47,L48
F15	S37, G37, L52; S63, G63, L53.
F18	S26, G26, L62; S28, G28, L63;L64
F19	S43,G43,L67;L79
F20	S3, G3, L79
F21	S45,G45,L69

4.2.2 Fonólitos e traquitos maciços

Expressão cartográfica

Esta unidade apresenta uma baixa expressão cartográfica, próxima de 0,02 km². A espessura estimada para esta unidade ultrapassa os 3 m, com variação da espessura entre 3,5 a 5 m.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente às intrusões de Rochas fonolíticas-traquíticas e basálticas, em filões, em chaminés e piroclastos descritas por A. Serralheiro (1976).

Natureza litológica

A natureza é geralmente traquítica-fonolítica, de cor clara a intermédia, com tons esverdeados, acinzentados e acastanhados.

Os materiais maciços fonolíticos e traquíticos apresentam textura afanítica, por vezes microfanerítica a fanerítica com minerais de feldspatóides (nefelina e leucite?), com dimensões que podem alcançar os 1-1,5 cm; ocorrem esporadicamente piroxenas e anfíbolos com dimensões próximas de 5 mm.

Estrutura litológica

A unidade apresenta-se estratificada com blocometria média de 1,5 m³, em que o tamanho dos blocos pode variar de L2,3,4, ou seja desde das dimensões 6 cm a 200 cm. Os materiais exibem descontinuidades horizontais e verticais com espaçamento médio entre 60 cm a 5 cm (E3,4,5), apresentando uma abertura de 1-2 mm.

Características de estado *in situ*

Representada por filões ou em chaminés, muito bem conservados. Os materiais apresentam em afloramento graus de alteração variando entre W1 a W3 (fresco ou são a moderadamente alterado) apresentando uma resistência avaliada entre muito compactos a pouco compactos à percussão ao martelo. Encontram-se localmente materiais com o grau de alteração W4, pouco compactos e friáveis à percussão ao martelo, materiais esses que sofreram mobilização.

A amostragem que permitiu a caracterização desta unidade foi efectuada a partir do perfil F18 e da recolha e ensaio das amostras S51,G51,L60,P14, S29,G29 e L61.

4.2.3 Fonólitos e traquitos brechificados

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente às intrusões de Rochas fonolíticas - traquíticas e basálticas, em filões, em chaminés e piroclastos descritos por A. Serralheiro (1976).

Expressão cartográfica

Esta unidade apresenta baixa expressão cartográfica, próximo de 0,04 km². A espessura desta unidade regista pequenas variações de espessura, nomeadamente entre 3,5 a 5 m.

Natureza litológica

Os materiais apresentam-se em chaminés desmanteladas e alteradas, nomeadamente nas zonas localizadas a nordeste do Monte Saco e em Pensamento, no qual o afloramento é de dimensões consideráveis. Os materiais são de natureza fonolítica-traquítica; apresentam considerável heterogeneidade, no que diz respeito à sua granulometria, variando desde a arenítica a micro-conglomerática, micro-arenítica pelítica a micro-pelítica, com cor clara, geralmente com tons esverdeados-esbranquiçados, passando a acinzentados-esbranquiçados ou mesmo esbranquiçado e com textura afanítica a fanerítica com cristais de piroxenas e fenocristais de feldspatóides (nefelina? e/ou leucite?). Localmente aparecem filões, geralmente basálticos, de cor castanha passando a tons mais escuros, castanho-escuro ou anegrado, que cortam esta unidade, apresentando possança entre 0,5 e 1,7 m. A textura dos filões é genericamente micro-fanerítica a afanítica.

Estrutura litológica

Os materiais dos afloramentos desta unidade apresentam atitudes no quadrante nordeste (N40°E) e noroeste (N50°W), com pendores 30°SE e 30°-68°SW. Nalgumas zonas observadas, é de notar direcções dos filões de N40°-60°E, ou mesmo N-S, sub-verticais, com pendores médios de 70°SE e com possança média de 70-80 cm, não ultrapassando os 2 m.

Características do estado *in situ*

Os materiais resultantes da brechificação dos fonólitos e traquitos são friáveis à percussão e muito a completamente alterados, o que se traduz por um intervalo de valores de estado de alteração W4,5.

O grau de alteração nos filões parece ser razoavelmente mais conservado que nos fonólitos e traquitos brechificados, sendo assim classificado como W4, ou seja muito alterado; quando ensaiada a resistência à percussão com o martelo, são pouco compactos a friáveis.

Na Ribeira de Safende (a Norte da estrada da Vila Nova) é possível observar um pequeno rejeito de falha nos materiais fonolíticos.

A representação das amostras é apresentada na tabela 4.11, baseada na caracterização de dois perfis, tendo sido recolhidas e ensaiadas 13 amostras.

Tabela 4.11 - Amostragem da unidade Fonólitos e traquitos brechificados.

Perfis	Amostragem
F12B	S21, G21,L40; S7,G7,L41
F14B	S61,G61,L80;L50;S35,G35,L49

4.2.4 Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos

Expressão cartográfica

A unidade apresenta na área de estudo uma baixa expressão cartográfica, próximo de 0,06 km². A espessura estimada para os materiais varia entre 6-8 m. A expressão dos afloramentos desta unidade é variável, localizando-se o maior afloramento a NW do Monte Pensamento (Simão Ribeiro) e de Achadinha.

Unidades geológicas equivalentes

Esta unidade litológica é equivalente às intrusões de rochas granulares ou gabros feldspatoídicos e olivínicos, sienitos feldspatoídicos e respectivos tipos afins referidos por A. Serralheiro (1976).

Natureza litológica

Trata-se de pequenas massas no que respeita às rochas gabróicas e de filões ou filonetes no caso dos sienitos (figura 4.23). Geralmente aparecem associados a esta unidade filões basálticos; apresentam-se ambos os tipos litológicos com tons esverdeados a verdes acastanhados.

Os materiais desta unidade apresentam granularidade média, com texturas fanerítica e porfírica, tendo localmente aspectos grosseiros. Quer as massas gabróicas e sieníticas exibem minerais de piroxenas, biotite, olivinas e feldspatoides (0,5 a 30 mm), mas há uma clara evidência de predomínio de minerais de olivina nos gabros e de feldspatóide (nefelina? e leucite?) nos sienitos feldspatoídicos.

Estrutura litológica

A estrutura dos gabros olivínicos é bandada, a que se associam vénulas e filonetes de rochas sieníticas. A estratificação é genericamente E-W; 20°S, e N-S; 60°W aparecendo representadas descontinuidades geralmente perpendiculares ao plano de estratificação principal.

Observam-se ainda filões de natureza basáltica e fonolítica a cortar os sienitos e gabros, com possança na ordem dos 30-50 cm. Os filões apresentam as atitudes N-S; 40°-70°W, N80°E; 20°SE, e N70°W; 40°SW, marcados por planos de diaclasamento.

Características de estado *in situ*

Os sienitos feldspatoídicos e os gabros olivínicos, bem como os filões de natureza basáltica e fonolítica, apresentam-se genericamente são, quanto ao seu estado de alteração, com um grau de alteração W1, respondendo de forma muito compacta à percussão ao martelo no caso dos sienitos feldspatoídicos e os gabros olivínicos; e medianamente compactos a muito compactos para os filões de natureza basáltica e fonolítica, em função das suas características litológicas e estruturais anteriormente descritas.

A caracterização resultou da análise do Perfil F23, e da amostragem L74 e P19.



Figura 4.23 - Aspecto dos Gabros olivínicos e sienitos nefelínicos.

4.2.5 Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos

Expressão cartográfica

Os Vulcanoclastitos basálticos e os carbonatitos ígneos são uma unidade com expressão cartográfica próxima de 0,36 km². Apresentam uma espessura estimada entre 10 a 20 m.

Os carbonatitos ígneos aparecem a cortar os vulcanoclastitos basálticos na zona sul do Monte Gonçalo Afonso e nas proximidades de Calabaçeira.

Unidades geológicas equivalentes

Unidade equivalente às Intrusões de rochas granulares ou brechas profundas de explosão interna e Carbonatitos (Serralheiro, 1976), de idade ante-Miocénica, Paleogénico. As brechas intra-vulcânicas e filões brechóides são fundamentalmente basálticas, embora também apareçam representadas rochas intermédias e mesmo rochas traquíticas e fonolíticas na sua constituição. Verifica-se mais do que uma fase de brechificação e nalguns locais ocorrem filões de rochas basálticas e de rochas carbonatíticas a cortar estas brechas (Alves et al. 1979).

Os Carbonatitos ígneos são equivalentes às Intrusões de Carbonatitos (pitões) descritas por A. Serralheiro (1976), de idade ante-miocénica, do Paleogénico.

Os Carbonatitos, segundo este autor, representam rochas intrusivas usualmente associadas a complexos de rochas alcalinas, podendo também ocorrer como derrames e rochas piroclásticas. Isto justifica a íntima associação, que com frequência se faz, entre a ocorrência de carbonatitos e de rochas silicatadas (nefelinitos, piroxenitos, lamprófiros, fonólitos, melilítos, entre outras), apesar da percentagem de carbonatitos nestas rochas não ultrapassar, normalmente, os 10% (Pereira, 2010). São estruturas filoneanas (Silva &

Ubaldo, 1985) que cortam os afloramentos de conglomerados-brechóides e podem corresponder ao preenchimento de fracturas e /ou abertura de antigos filões.

Particularmente importantes são os afloramentos das áreas do monte Pensamento e da Ribeira do Forno (Figueira de Portugal). No primeiro há duas fases ijóito-melteijíticas (uma das quais evoluiu para um metassomatito cálcico com hidrogrossulária, vesuvianite, vollastonite, xonotiite e flogopite) e duas fases posteriores de rochas sieníticas (Alves *et al.* 1979) ou uma única fase ijóito-melteijítica afectada por acções metassomáticas selectivas e localizadas, responsáveis pela formação do metassomatito cálcico, podendo esta última rocha corresponder a um tipo de fenito pouco frequente. Os afloramentos conglomeráticos-brechóides ou brechas profundas de explosão interna referidos por estes autores, foram considerados, neste trabalho, tendo como base a sua posição estratigráfica, como correspondentes, aos designados por Vulcanoclastitos basálticos.

Natureza litológica

Os principais afloramentos de Vulcanoclastitos basálticos e Carbonatitos ígneos situam-se nas zonas de Gonçalo Afonso e Monte Pensamento, sendo cortados por filões e filonetes de carbonatitos.

A sudoeste da povoação de Simão Ribeiro, nas proximidades de Pensamento existe uma chaminé de natureza basáltica (Vulcanoclastitos basálticos; figura 4.24a), e incluindo elementos esporadicamente fonolíticos ou traquíticos e de outras rochas granulares (carbonatíticas), de grão grosseiro, conglomerático-brechóide, com textura afanítica ou microfanerítica com minerais de biotite com 1-2 mm.

Nos Carbonatitos ígneos (figura 4.24b), os materiais são de cor cinzenta-acastanhada clara a tons mais claros de tonalidade esbranquiçada, encontrando-se bastante alterados, com dissolução intensa e com minerais de carbonatos (calcite e dolomite?). Nestes, pontualmente observam-se minerais de magnetite e veios de carbonatos e/ou zéolitos disseminados, o que traduz uma textura microfanerítica a afanítica. A textura dos filões de natureza basáltica que cortam esta unidade é geralmente afanítica.

Estrutura litológica

Os Vulcanoclastitos basálticos estão representados por uma chaminé que dá forma a uma elevação cónica e aguçada de relevo bem definido e diferenciado. Observam-se materiais finos (piroclastos soltos), calhaus rolados e escoadas, alterados, que provêm possivelmente do desmantelamento da chaminé; localmente observam-se escoadas alteradas em “bolas” (disjunção esferoidal).

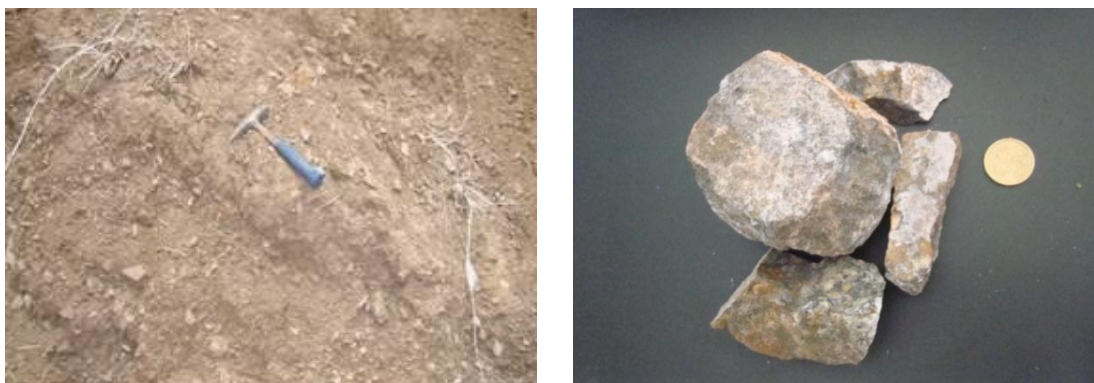


Figura 4.24 - a) Aspecto dos Vulcanoclastitos basálticos; b) Carbonatitos ígneos.

Os Carbonatitos ígneos apresentam-se em rede filoneana, constituindo filonetes e filões de considerável compacidade, acompanhados por filonetes e filões de natureza basáltica que cortam os Vulcanoclastitos basálticos; a rede filoneana apresenta várias direcções, N-S; 50°E, N82°W; 80°NNE, N26°W e N48°W; 50°WSW, com descontinuidades espaçadas na ordem de 1 cm. A possança dos filões apresenta em média 20-25 cm a 60-70 cm, e no máximo 1-3 m.

Características de estado *in situ*

Os Vulcanoclastitos basálticos apresentam-se à percussão pouco compactos a friáveis, com grau de alteração variando entre pouco alterado a moderadamente alterado (W2,3), exibindo os filões Carbonatíticos ígneos que cortam os Vulcanoclastitos basálticos grau de alteração semelhante W2,3, mas uma resposta medianamente compacta a muito compacta à percussão ao martelo. Por sua vez os filões basálticos que cortam os Vulcanoclastitos basálticos apresentam um grau de alteração moderado (W3) e respondem de forma pouco compacta à percussão, o que associado à elevada fracturação origina uma blocometria de aproximadamente 30 cm³ (proximidades do Monte Gato Valente).

A caracterização fez-se com base na observação do perfil F23, e dos ensaios das amostras L72,P18,L75 e L73.

4.2.6 Conglomerados inferiores

A posição estratigráfica desta unidade é bastante imprecisa, como salienta A. Serralheiro (1976), sendo equivalente aos conglomerados antigos (ante-formação dos Flamengos). Assume-se pelas observações de campo e relações geométricas da cartografia que se trata de materiais mais recentes que a unidade composta por Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Fonólitos e traquitos maciços e brechificados e possivelmente que a unidade Brechas hialoclastíticas.

Esta unidade tem uma expressão cartográfica próxima de 0,03 Km², uma espessura média de 0,80 m e máxima de 3 m.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Encontra-se representada na área de estudo na zona de Vila Nova, sob os Basaltos olivínicos, e em Simão Ribeiro por dois afloramentos sobre os Fonólitos e traquitos brechificados (figura 4.25) e em afloramento localizado numa linha de água.

Correspondem a conglomerados espessos, constituídos por calhaus rolados, bastante alterados. Os calhaus são de natureza basáltica e traquítica-fonolítica, apresentando-se a matriz alterada com tons castanha clara a escura, a qual contém cristais de biotite com cerca de 4 cm de diâmetro, podendo ocorrer palhetas de mica disseminadas na matriz da rocha.

A amostragem é representada no Perfil F14B, com as amostras S48 e G48.



Figura 4.25 - Conglomerados inferiores (Pensamento).

4.2.7 Brechas hialoclastíticas

Expressão cartográfica

A representação superficial desta unidade ocupa uma elevada área, aproximadamente 2,3 km², sendo a terceira maior unidade aflorante na área de estudo. Os afloramentos localizam-se nas zonas de Chã Areia, Tira-Chapéu, Quebra-Canela, Ribeira de Palmarejo Pequeno e Monte Babosa, os quais exibem uma espessura máxima estimada para esta unidade de aproximadamente 25 m de espessura. Todos os termos líticos são constituídos por sucessões de escoadas lávicas com intercalações de níveis de natureza vulcanoclástica, cujas espessuras máximas raramente ultrapassam os 40 m. As escoadas apresentam espessuras variáveis, mas sempre superiores às dos níveis vulcanoclásticos adjacentes.

Unidades geológicas equivalentes

É equivalente à Formação dos Flamengos (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de idade Miocénica (23-5,3 Ma) e caracterizada por Barker *et al.* (2009b) no Vale da Ribeira dos Flamengos.

De acordo com A. Serralheiro (1976) os mantos submarinos antigos têm uma grande importância individual, dada a extensão que ocupam nalgumas ilhas, designadamente na

ilha de Santiago, bem como a morfologia e grande compacidade dos depósitos que originam. Podem, por vezes, formar séries muito espessas que apresentam uma grande autobrechificação - hialoclastitos (Alves *et al.* 1979), ou então empilhamento de *pillow*-lavas que se distinguem das lavas em rolos mais modernas pelo seu elevado grau de alteração. O termo hialoclastito engloba todos os materiais vítreos originados em erupções hidrovulcânicas básicas ou em erupções sub-glaciais, incluindo escoadas e piroclastos submarinos (Nunes, 2002; *in* Pereira, 2010). Os tufos e hialoclastitos intercalados, característicos desta formação, existem em grande quantidade nalgumas zonas, evidenciando uma intensa actividade explosiva. Constituem aplanções ou morfologias onduladas, ocorrendo em vales largos incluindo a baixa fluvial e encostas de pendor geralmente suave.

Natureza litológica

Reflectindo a origem vulcânica submarina e emergente, isto é, a partir de uma actividade vulcânica de intensa explosividade, os vulcanitos apresentam um claro predomínio da fácies vulcanoclásticas sobre as de natureza lávica. A cartografia confirmou esta expectativa ao indicar que cerca de 30-70% dos vulcanitos correspondem a brechas e tufos vulcânicos. A matriz é arenítica, de grão grosseiro a fino (figura 4.26), representando 30 a 70% da rocha. Os materiais apresentam-se soltos a/ou pouco consolidados, com tons esverdeados a acastanhados (por vezes amarelo-avermelhados). Podem observar-se sedimentos mais finos (argila, piroclastos), níveis de calcite e hialoclastitos, com fragmentos de cor branca (caulinite?).

A unidade é constituída por materiais brechóides de natureza basáltica, fonolítica, micro-sienítica nefelinica, apresentando fragmentos de rocha derivados dos rolos (*pillow*-lavas), de natureza basáltica e por vezes fonolítica. Os fragmentos ou auto-clastos apresentam-se sub-angulosos a sub-rolados, com diâmetro de 1 mm a 80 cm (heterométricos), com dimensão média de 6-30 cm representando volumetricamente 30-40% a 60% da rocha. Existem grãos que parecem corresponder a fenocristais de piroxena com 5-7 mm de dimensão, subarredondados; os fragmentos mostram textura afanítica a microfanerítica, por vezes fanerítica, apresentando minerais de olivina, piroxena e/ou anfíbola, feldspatóides (nefelina) e biotite, de dimensão média 1 mm e máxima até 3 a 5 mm.

Os filões ou domos de natureza basáltica, com cor negra acastanhada ou acinzentada, contêm cristais milimétricos de biotite, olivina e piroxena.

Estrutura litológica

A estrutura desta unidade é definida como uma estrutura do tipo *jigsaw-fit*, em que se observam as *pillow*-lavas muito fracturadas em pequenos blocos, mas nalgumas zonas dos afloramentos encontram-se ainda aglomerados e pseudo-*pillow*. Expressam igualmente uma enorme diversificação de coordenadas geológicas. No entanto, a inclinação é geralmente reduzida (~25°) e pende preferencialmente para o exterior da ilha, evoluindo para os domínios submersos. As direcções preferenciais dos afloramentos de brechas hialoclastíticas são: N70°W; 20°SW ou 20°NE, N60°E; 12°SE, N80°-85°E; 25°SE, N40°W; 20°SW e N-S; 80°-90°E, N20°-40°SW; 30°NE e E-W; 50°S. Os pendores destes materiais são comparados aos pendores dos hialoclastitos estudados em Tenerife (Ferrer *et al.* 2007, 2010).

Os filões e domos apresentam grandes dimensões e espessuras, atingindo a possança de 3 m no máximo, com possança média que varia entre 70 cm e 2 m; com estrutura planar e geralmente com atitude média N15°E; 70°W ou 70°E. Com blocometria, E3 e E4 (blocos de 3cm³ de dimensão) forma poligonal a irregular, demonstrando descontinuidades horizontais e verticais (N70°W).



Figura 4.26 - Aspecto arenítico das Brechas hialoclastíticas.

Características de estado *in situ*

Os materiais desta unidade apresentam estado de alteração W3,4, friável a pouco compacto (caso da Ribeira de Palmarejo Grande). Os filões ou domos são medianamente compactos, com estado de alteração W1,3, apresentando-se geralmente muito fracturados. Aparecem representados veios de calcite e/ou de zéolitos (carbonatos) a preencher as descontinuidades horizontais e verticais em que o espaçamento é E4,5. Por sua vez os rolos (*pillow-lavas*) apresentam-se medianamente a extremamente compactos.

Podem-se tratar de materiais derivados de fragmentação de rolos (*pillow-lavas*) ou com aspecto de brecha pouco consolidada (como é caso a NE do Monte Saco no contacto com depósitos conglomeráticos estratificados e na Praia de Quebra-Canela).

A desagregação dos rolos pequenos com formas poligonais origina um material com granulometria arenítica grosseira e textura afanítica.

Na tabela 4.12 identificam-se os 4 perfis que permitiram caracterizar a unidade, assim como a amostragem realizada nos perfis característicos da unidade.

Tabela 4.12 - Amostragem da unidade Brechas hialoclastíticas.

Perfis	Amostragem
F1	S4, G4; S50,G50,L1,R5; L3,P1;S33,G33,L2
F3	S58,G58,L16;S32,G32,L17
F4	S11,G11,L10;L13,P4;S13,G13,L11;S5,G5,L12
F10	S40,G40,L34;S22,G22,L35

4.2.8 Depósitos conglomeráticos estratificados

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente de 0,03 km², estimando-se variações de espessura máxima entre 4 a 20 m. Representada por afloramentos restritos, nomeadamente a nordeste de Monte Saco, na praia Quebra-Canela, em Cova Figueira, nas Ribeiras do Palmarejo Pequeno e Grande e em Simão Ribeiro.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à Formação dos Órgãos (conglomerados-brechóides de fácies terrestres e marinha; *in* Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de idade Miocénica.

A sua natureza é bastante complexa e heterogénea, uma vez que inclui intercalações arenosas e conglomeráticas, podendo apresentar elementos semelhantes a depósitos de lahar e depósitos de fácies terrestres e fácies aquáticas (estuarina e marinha) que podem conter fósseis (Alves *et al.* 1979).

Natureza litológica

Trata-se de depósitos de natureza essencialmente basáltica, incluindo elementos de natureza fonolítica/traquítica e/ou zeolítico/carbonatado de cor castanha clara esverdeada ou cinzenta esverdeada.

Os clastos apresentam natureza basáltica, raramente fonolítica/traquítica, ou gabro-diorítica, com forma angulosa a sub-angulosa e rolada (figura 4.27), com superfícies polidas, de dimensões pequenas entre 2 mm-20 cm, média entre 1-10 cm, em que escassos clastos atingem os 60 cm de diâmetro, sendo envolvidos por uma matriz da mesma natureza com pequena quantidade de calcite, apresentando cor negra ou negra acinzentada, com cristais disseminados de biotite relativamente abundantes.

Geralmente nos afloramentos existem sedimentos finos na base e grosseiros no topo, atravessados por chaminés basálticas, os quais apresentam cristais de biotite disseminados ou abundantes clastos de rocha fonolítica. Localmente podem observar-se sedimentos mais finos no topo e na base e, em nível intercalar sedimentos mais grosseiros. Quando cortados por filões (*e.g* Monte Saco), estes são de natureza basáltica, de cor castanha escura e de textura afanítica.



Figura 4.27 - Depósitos conglomeráticos estratificados.

Estrutura litológica

Poderão corresponder a depósitos de antigos *lahars* (Serralheiro, 1976); são de facto intercalações arenosas grosseiras ou puramente conglomeráticas, bem estratificadas.

Os Depósitos conglomeráticos estratificados apresentam orientações de estratificação preferenciais (figura 4.33) de N10°E; 58°NW, N62°W; 20°SW; E-W; 70°S e N-S; 12°E.

Características de estado *in situ*

O grau de alteração dos materiais em afloramento varia entre W3,4 (moderado a muito alterado), apresentando-se pouco compactos à percussão. Os filões exibem o mesmo grau de alteração (W3,4) e ainda uma resposta de pouco compacta à percussão. A amostragem foi baseada no perfil 12C, onde foram recolhidas as amostras S65, G65, L54, S66, G66 e L55.

4.2.9 Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente de 1 km², representada preferencialmente no vale da Ribeira de Palmarejo Grande, encosta Ocidental e Sul do Monte Gato Valente e a Sudeste do Monte ilhéu, com uma espessura máxima variando entre 15 m a 30 m. Correspondem a vales largos e encostas com pendor acentuado.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à Formação dos Flamengos (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de idade Miocénica.

Natureza litológica

As Escoadas e chaminés basálticas com disjunção tubular são afloramentos rochosos constituídos por materiais basálticos de cor negra a negra azulada a acinzentada, com textura porfirítica, apresentando minerais de anfíbolos e/ou piroxenas e olivinas em estado fresco, com dimensões médias de 0,5-1 mm.

Distingue-se das unidades brechas hialoclastíticas e brechas hialoclastíticas litificadas, por não apresentarem brechificação (brechas intercaladas) e hialoclastitos.

Estrutura litológica

Apresenta uma estrutura maciça, com forma poligonal, hexagonal ou pentagonal irregular, tubular (tubos de lava) (figura 4.28); os tubos apresentam dimensão pequena, com 5-15 cm (L4,5), manifestando as descontinuidades várias direcções com abertura de 1 mm a 2-3 cm. O domínio do espaçamento entre as descontinuidades é de 6-20 cm (E4).



Figura 4.28 - Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular.

Características de estado *in situ*

Apesar da forte compartimentação condicionada pela blocometria pequena e descontinuidades em várias direcções, as Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular exibem um estado fresco, conservado ou são, W1, em que os maciços são muito compactos à percussão com o martelo. As direcções preferências dos afloramentos são, N60°E; 66°SE; N40°E; 40°SE.

A amostragem da unidade é representada pelas amostras L78, P22 e R9 no perfil F25. Foi ainda possível recolher a amostra L82 na Ribeira do Palmarejo Grande, para comparação dos resultados.

4.2.10 Brechas hialoclastíticas litificadas

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de 0,32 km², e apresentando uma espessura máxima entre 2,5 a 5 m. Encontra-se representada nas zonas de Cova Figueira e Cova Minhoto (litoral).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à Formação dos Flamengos (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de idade Miocénica. Ocorrem em aplanações litorais com pendor suave.

Natureza litológica

Representada por basaltos de cores negra a negra acinzentada ou negra esverdeada, com textura afanítica a microfanerítica, contendo cristais milimétricos de olivina; exhibe também a presença de hialoclastitos e calcite disseminada em veios com 2-4 mm de espessura, podendo ainda apresentar textura porfirítica, com minerais de anfíbola e piroxena. Os minerais de piroxena podem apresentar dimensões desde milimétricos a 4-5 cm. Os rolos podem apresentar forma prismática a irregular, noutros casos.

As brechas intercaladas têm auto-clastos (40%-50% de representação) de natureza basáltica, de cor castanha clara a castanha ou negra, sendo a matriz brechóide, microconglomerática ou arenítica a pelítica, com cerca de 50%-60% de representação; os auto-clastos de natureza basáltica são de cor amarelada, acastanhada a anegrada, apresentam-se com dimensões de 0,5-15 cm (média) e 18-20 cm (máxima), com textura afanítica ou microfanerítica, minerais de biotite, olivina, piroxena e hialoclastitos (carbonatos), de dimensões médias <1 mm.

Os domos e filões que cortam esta unidade são de natureza basáltica, de cor cinzenta anegrada, afaníticos a micro-faneríticos com cristais de olivina alterada de dimensões milimétricas (≤ 5 mm).

Estrutura litológica

Pode ocorrer uma estrutura do tipo *jigsaw-fit*, em que se observam as *pillow*-lavas muito fracturadas em pequenos blocos, localmente encontrando-se aglomeradas. Os maciços basálticos têm várias descontinuidades que lhes conferem formas poligonais em blocos menores (L4.5). As descontinuidades apresentam 1-5 mm de abertura, em alguns afloramentos podem atingir os 10 cm e espaçamento E5, apresentando-se preenchidas por hialoclastitos e calcite a preencher algumas descontinuidades com menos de 1 mm de dimensão.

Os maciços basálticos apresentam estratificação orientada segundo planos com direcção e inclinação S70°E; 50°SE, N80°E; 20°SE, N60°E; 66°SE (figura 4.27) e com espessuras na ordem dos 3,8-4 m; as *pillow* brechas têm atitude N34°E; 38°SE e espessuras máximas de 2-6 m (figura 4.34a). Os filões e domos são constituídos por blocos de forma cúbica, L3,4 e espaçamento das descontinuidades horizontais e verticais, E4; em que as descontinuidades, com 1-1,5 cm de abertura, são preenchidas por veios de hialoclastitos. Os filões geralmente orientam-se na direcção N40°W, N-S e N20°E com

pendores 10°-20°SW, 45°SW e 42°SE; a possança média é de 1,5-2m, com valores mínimos de 70 cm e máximos de 3 m.

Características de estado *in situ*

Esta unidade geralmente apresenta-se separada da formação sobrejacente por uma descontinuidade delineada por uma espessura considerável de conglomerados constituídos por materiais rolados com cerca de 70-80 cm de espessura (figura 4.29). Os materiais apresentam um baixo grau de alteração W1,2, muito a medianamente compactos à percussão ao martelo. Todas as rochas, vulcanoclásticas ou lávicas, apresentam elevado grau de alteração e de litificação secundária. Esta característica atinge com particular intensidade os níveis de granulometria fina, dificultando ou impossibilitando a identificação das suas características primárias.



Figura 4.29 - Superfície de descontinuidade marcada por uma fácies conglomerática.

As brechas intercaladas apresentam-se medianamente compactas à percussão, com maior grau de alteração W3,4. A sua superfície apresenta concreções ferruginosas parecendo crostas de alteração ou possivelmente crostas palagonitizadas originadas a partir da alteração do vidro vulcânico; por sua vez os filões apresentam-se muito compactos, com grau de alteração entre são a moderadamente alterado, W1 a W3.

Na Tabela 4.13 são assinalados os perfis que serviram de base à caracterização da unidade e as amostras recolhidas.

Tabela 4.13 - Amostragem das Brechas hialoclastíticas litificadas.

Perfis	Amostragem
F2	S47,G47,L4,S44,G44,L5,R8,L6,P2
F8	L25,L26
F24	L76,P20,L82

4.2.11 Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de 0,19 km², e espessura máxima aproximada de 3 m. Aparecem essencialmente representados na encosta da Ribeira de Palmarejo Pequeno (Fontom), em Tira-Chapéu, São Felipe e Ribeira da Trindade (Norte) e nas pequenas linhas de água de Cova Minhoto e de Monte Vermelho, e na encosta Leste da Achada de Santo António.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade do Pliocénico, Conglomerados de fácies marinha de A. Serralheiro (1976), encontrando-se na área de estudo sob os mantos submarinos inferiores do Complexo Eruptivo do Pico de Antónia, correspondentes a antigos depósitos de praia, e cuja distribuição permite reconstituir o paleo litoral.

Natureza litológica

Unidade constituída por conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos. Os conglomerados são constituídos por clastos de natureza basáltica com tons claros e amarelados arredondados, sub-rolados a sub-angulosos, com alta esfericidade, heterométricos, os maiores com 90-80 cm, os médios com 10-15 cm e os menores com 1-5 cm, constituindo um total de 60-70% na rocha. O cimento destes corpos é de cor clara, calcarenítica e/ou ferruginoso, representando 20-30%.

Os calcários apresentam tons claros, amarelados a beges, exibem um cimento com granulometria arenítica (80% da representação volumétrica) e cerca de 20% de bioclastos.

Estrutura litológica

Os Conglomerados de grão grosseiro têm uma estrutura lenticular, localmente truncada (discordância) por um pequeno domo pertencente à unidade subjacente, tendo os depósitos maior representatividade na orla costeira. Os corpos lenticulares apresentam uma espessura centimétrica, na ordem de 60 cm (L3).

Os calcários com bioclastos apresentam-se em bancadas, com estratificação com fractura concoidal, micro-porosa. A compartimentação origina uma blocometria do tipo L3 (cerca de 20 cm). A espessura máxima dos estratos é de 1-1,5 m, apresentando-se irregulares no muro mas regulares no tecto.

Características de estado *in situ*

As características de estado *in situ* dependem, essencialmente, da espessura média dos estratos e do espaçamento entre planos de diaclasamento. Os Conglomerados de grão grosseiro são medianamente compactos, exibindo um grau de alteração W2 (pouco alterado). Por sua vez os calcários com bioclastos no que diz respeito ao estado de alteração, apresentam-se medianamente compactos à percussão, e apresentam-se são ou frescos (W1).

A amostragem respeitante a esta unidade cujas observações e ensaios foi baseada em dois perfis (F3 e F4), com amostragem L15, P15 (calcários com bioclastos) e L9 (Conglomerados de grão grosseiro), respectivamente.

4.2.12 Basaltos maciços em rolos

Expressão cartográfica

Unidade com muito limitada expressão cartográfica de aproximadamente de 0,20 km², representada na encosta ocidental da Achada Santo António, na Ribeira de Palmarejo Pequeno (Fontom) e na área da Ponta Temerosa (Farol; Seminário de S. José). A espessura estimada máxima é de cerca de 5 m.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade Basaltos submarinos (*pillow*-lavas) do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976) de idade Miocénica-Pliocénica. Constituem plataformas costeiras em pendente suave para o litoral, ou em vales com vertentes suaves.

Esta unidade litológica apresenta-se nas áreas de Ponta Temerosa (Prainha), foz das Ribeiras do Palmarejo Grande e do Palmarejo Pequeno e na Cova Minhoto.

Os mantos e piroclastos inferiores (Ai) incluem grandes quantidades de tufos e hialoclastitos, englobando por vezes grandes quantidades de rolos. Ocupam áreas litorais, correspondendo a plataformas de abrasão antigas “talhadas pelos níveis quaternários” (Serralheiro, 1976). Constituídos por *pillow*-lavas (lavas em rolos), por vezes de grandes dimensões, apresentam uma crosta vítrea estalada segundo formas poligonais irregulares.

Natureza litológica

Escoadas maciças e basálticas com cor castanha escura variando para tons anegrados e com textura afanítica, ou fanerítica, quando ocorrem fenocristais de piroxena e/ou anfíbola, bem como hialoclastitos.

Estrutura litológica

Para além das estruturas maciças e de fluência, ocorrem nestes materiais estruturas interpretadas como resultantes da construção em ambiente submarino, nomeadamente estruturas em *pillow*-lavas (lavas em rolos; figura 4.30), com pendores a variar entre os 35º-45º.

Aparecem ainda representadas estruturas em rolos prismáticos, exibindo formas poligonais perfeitas (e.g Ponta do Farol), de espessura média (20-60 cm), L3; o espaçamento das descontinuidades horizontais e verticais é na ordem inferior dos 6 cm, ou seja, E5; as descontinuidades apresentam-se genericamente com 0,5-0,8 cm de abertura.

Características de estado *in situ*

As características variam em função da natureza e da espessura dos rolos basálticos pelo que se observa *in situ* tratar-se de afloramentos medianamente compactos, quando sujeitos à percussão com o martelo e com grau de alteração moderada (W3). Podem apresentar um depósito de alteração superficial, de cor castanha avermelhada, correspondendo possivelmente a uma crosta palagonitizada originada a partir da alteração do vidro vulcânico, o qual alcança 1,5 m de espessura.

A amostragem da unidade está representada no perfil F4, com as amostras S39, G39, L8 e R12.



Figura 4.30 - Basaltos maciços em rolos (*pillow-lavas*) na Ponta Temerosa (Farol).

4.2.13 Basaltos maciços em rolos com carbonatos

Expressão cartográfica

Unidade com limitada expressão cartográfica de aproximadamente de 0,03 km², estimando-se uma espessura média de 8,5 m. Aparece representada na Praia de Quebra-Canela, respectivamente na arriba da Achada de Santo António (sul da área de estudo).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade dos Basaltos submarinos (*pillow-lavas*) do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de idade Miocénica-Pliocénica. Constituem plataformas costeiras em pendente suave para o litoral.

Constituída por *pillow-lavas* ou *pillow-rolos* (lavas em rolos), por vezes de grandes dimensões, com uma crosta vítrea com formas poligonais irregulares à superfície; as lavas submarinas, particularmente as brechas e os hialoclastitos, estão fortemente impregnadas de calcite, assemelhando-se a verdadeiras brechas sedimentares, *pillow-brechas* (Serralheiro, 1976).

Natureza litológica

As escoadas maciças em rolos com carbonatos apresentam tonalidade negra a castanha escura, com textura fanerítica, onde é possível observar macroscopicamente minerais de olivina e biotite de dimensões médias < 2 mm e os maiores com dimensões de 4 mm; observam-se carbonatos disseminados em veios ou pequenos nódulos e hialoclastitos, sendo ainda visíveis fenocristais de piroxena e/ou anfíbola.

Estrutura litológica

Apresentam aspecto maciço e cavernoso (as cavidades geralmente não são regulares ou circulares) com fracturação moderada, em rolos ou *pillow*-lavas, típico de rochas de ambiente submarino. A fracturação origina formas de consolidação prismáticas, um tanto ou quanto irregulares, com estratificação em que o pendor é acentuado, na ordem do 45°. Os rolos ou blocos irregulares apresentam espessura moderada (L3; 20-60 cm) observando-se alguns rolos com características de L2 (> 200 cm) e em que o espaçamento das descontinuidades horizontais e verticais é reduzido (E4).

Características de estado *in situ*

As características de estado *in situ* estão na dependência da sua estrutura maciça e espessura; apresentam-se quanto à percussão ao martelo, muito compactos e, quanto ao estado de alteração, com aspecto são ou fresco (W1).

A amostragem está representada pelo perfil F3, com as amostras L14,R11.

4.2.14 Basaltos vesiculares em rolos

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica muito reduzida de aproximadamente de 0,17 km² e espessura média de cerca de 1,5 a 8 m. O afloramento desta unidade ocupa uma extensão na orla litoral, em especial na zona de Cova Figueira e Cova Minhoto (zona sul da área de estudo).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade Basaltos submarinos (*pillow*-lavas) do Complexo Eruptivo do Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de idade Miocénica-Pliocénica. Constituem plataformas costeiras em pendente suave para o litoral, ou em vales encaixados com vertentes suaves.

Natureza litológica

De cor acastanhada escura, com aspecto poroso, vesicular, superficialmente. Entre os rolos aparece representada uma brecha de cor castanha clara, com matriz arenítica de natureza hialoclastítica, com uma representação volumétrica de cerca de 40%.

Os rolos ou blocos de forma prismática a irregular, são negros acinzentados, têm textura afanítica, com alguns minerais de moscovite com 1 mm de dimensão média e

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

minerais de olivinas alteradas com dimensões médias de 1-5 mm; os rolos apresentam cavidades preenchidas por carbonatos (calcite e dolomite?); podem ocorrer escassos fenocristais de piroxena e/ou anfíbola.

As brechas quando existem são de cor amarelada - creme, a textura é afanítica ou fanerítica com minerais de olivina alterada e cristais de piroxena com 1-4 cm; são constituídas por auto-clastos sub-angulosos com 3-4 cm de dimensão média, outros maiores com 8-12 cm com forma irregular possivelmente resultantes da desagregação dos rolos, representando 60%. As brechas são cimentadas por calcite e nelas estão disseminados pequenos fragmentos provenientes da desagregação dos rolos.

Estrutura litológica

A forma dos rolos é prismática a irregular, para além das estruturas maciças e de fluência, fracturados em pequenos blocos com dimensões na ordem dos <6 cm a 20 cm (L3,4) e a abertura das discontinuidades é de cerca de 0,5-2 cm e o espaçamento entre estas na ordem dos 6-20 cm (E4). Os corpos presentes podem ou não apresentar brecha intercalada nos rolos, tratando-se de um material de preenchimento que ocupa os intervalos ou espaços dos rolos, sendo proveniente da desagregação ou fragmentação das crostas externas da lava; ocorrem pseudo-brechas e *pillow*-brechas. Distinguem-se das brechas hialoclastíticas litificadas pelo facto destas não apresentarem rolos ou prismas fragmentados, mas sim clastos com dimensões variadas.

As direcções genéricas de estratificação (figura 4.31) são N40°E; sub-vertical, E-W e N60°W, N80°W, em que estas estruturas inclinam geralmente 30°- 45°.

Características de estado *in situ*

São pouco compactos quanto à resistência à percussão com o martelo; o estado de alteração traduz-se por um comportamento variável desde o são ou fresco, pouco a moderadamente alterado (W1,2,3). As brechas intercaladas nos rolos são medianamente resistentes e compactas com estado de alteração sensivelmente menor, exibindo as classes de alteração W1,2.

As amostras L19 e R23 serviram para a caracterização da unidade e basearam-se na amostragem do perfil F6.

4.2.15 Basaltos maciços

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente de 0,50 km². Apresenta afloramentos com espessura média entre 3 a 10 m; encontram-se circunscritos ao topo do Monte Babosa.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à Formação Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica.

Natureza litológica

Os afloramentos desta unidade são de natureza basáltica. Apresentam tonalidades escuras desde a cor negra a cinzenta anegrada.

A textura é microfanerítica a afanítica, com minerais de olivina, de piroxena e anfíbola, zéolitos e minerais avermelhados (de alteração?) com dimensões até 1 mm.

Estrutura litológica

A forma dos blocos é angulosa a sub-angulosa, e apresentam-se em afloramentos maciços muito fracturados. Os blocos têm forma irregular, heterométricos com dimensões médias de 1 m (L2). Os menores apresentam-se com dimensões de 50 cm e os maiores com dimensões de 2-2,5 m, sendo as descontinuidades com abertura na ordem dos 1 mm-6 cm; o espaçamento médio entre planos varia no intervalo 60-200 cm (E2).

Características de estado *in situ*

As características estão na dependência da estrutura e espessura dos blocos. Quando testada a resistência com a percussão ao martelo os basaltos maciços situam-se na classe mais elevada, ou seja, respondem de forma muito compacta e o estado é são ou fresco (W1).

Foi possível realizar a amostragem a partir do perfil designado por F10, de onde foram retiradas e ensaiadas as amostras L33, P11 e R18.

4.2.16 Basaltos porfiríticos com bancadas de lapilli

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica limitada de aproximadamente 0,64 km² e apresentando espessura média entre 3 a 10 m. Os afloramentos desta unidade estão representados em quatro áreas bem individualizadas, nos montes Gonçalo Afonso, Monte Ilhéu, Gato Valente e em Chão de Lemão.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade dos Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica.

Natureza litológica

O conjunto dos vulcanitos desta unidade expressa claro predomínio das fácies de natureza lávica sobre as fácies vulcanoclásticas que, neste caso, são exclusivamente de natureza piroclástica.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

É representada por corpos de natureza basáltica de cor negra, passando para tonalidades acinzentada a cinzenta anegrada, os quais apresentam fenocristais de olivina alterada ou fresca, anfíbola e piroxena com diâmetro até 5 cm.

As bancadas de lapilli (que só foram observadas no Monte Gonçalo Afonso) são constituídas por materiais basálticos, piroclásticos, explosivos, de cor avermelhada, castanha avermelhada; apresentam-se porosos e encontram-se muito meteorizados ou desintegrados com espessura de 3,2 m.

Os piroclastos são de textura vítrea, apresentando várias dimensões desde tufos (< 2 mm) de natureza pelítica de grão fino muito fino; encontram-se partículas < 0,5 mm.

Estrutura litológica

Os conjuntos líticos aparecem representados por blocos de forma irregular, principalmente angulosos e sub-angulosos (Chão de Lemão - baixo) apresentando apresentam dimensões de 20-60 cm em média (L3), com os maiores, apresentando 90 cm-1 m de diâmetro (L2).

As discontinuidades podem-se dispor em padrão radial (E2,3,5) originado uma estrutura em “tartaruga” (*tortoise shell*).

Localmente observam-se blocos dispersos no solo (Chão de Lemão - cima) ou amontoados constituindo um “caos de blocos” (Montes Gonçalo Afonso e Gato Valente).

Características de estado *in situ*

As características estão na dependência da elevada espessura e moderada fracturação que alguns afloramentos apresentam, e revelam que estes são muito compactos quando testados na sua superfície à percussão ao martelo; e o estado de alteração é fresco ou são (W1).

As bancadas de lapilli, desagregam-se facilmente à percussão, ou seja, são friáveis a pouco compactas, e o seu estado de alteração é muito alterado (W4).

Foi possível realizar a amostragem representada na tabela 4.14, a partir dos perfis de dois afloramentos F22A e F22B, onde foram seleccionadas oito amostras.

Tabela 4.14 - Amostragem dos Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli.

Perfis	Amostragem
F22A	S15,G15,L70,P16
F22B	S27,G27,L71,P17

4.2.17 Basaltos vesiculares inferiores

Expressão cartográfica

Unidade com reduzida expressão cartográfica, aproximadamente de 0,36 km², com espessuras variando entre 1,5 e 4 m.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade dos Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Natureza litológica

Os afloramentos desta unidade ocupam pequenas áreas de representação na Achada Furada e nas proximidades da Ponta Preta.

De natureza basáltica, de cor heterogénea, desde negra acinzentada, cinzenta escura ou castanha escura, passando para tonalidades de cinzenta acastanhada.

A textura dos basaltos é afanítica a microfanerítica ou fanerítica com minerais de olivina alterada com dimensões máximas de 1-2 cm; observa-se igualmente a presença de carbonatos (calcite e dolomite?) a preencher algumas das cavidades, em nódulos ou com aspecto amigdalóide.

Estrutura litológica

Apresentam-se sob a forma de corpos com disjunção esferoidal em bolas, em blocos irregulares dispersos, ou em camadas estratificadas. Correspondem a materiais porosos, micro-vesiculares, mas predominantemente vesiculares/vacuolares ou mesmo amigdalóides pontualmente, em que as vesículas podem atingir as dimensões médias de 1-3 cm de diâmetro.

A espessura das camadas ou blocos é na ordem variável de 10 cm a 1 m (L 2,3,4); a abertura das descontinuidades é de 0,3-0,5 cm concentrando-se nas classes de espaçamento E3 e E4.

As atitudes das camadas ou blocos estratificados dos principais afloramentos observados são variáveis, N20°W; 60°SW ou 50°-60°NE, N-S; 45°W, N10°E; 10°SE e N10°W; 30°SW.

Características de estado *in situ*

As escoadas basálticas vesiculares inferiores apresentam-se medianamente compactas a pouco compactas à percussão, e com grau de alteração entre pouco alterados (W2) a medianamente alterados (W3). Podem apresentar estratificação de variadas direcções.

A unidade foi caracterizada de acordo com as amostras dos perfis F7A e F11, como se pode observar na tabela 4.15.

Tabela 4.15 -Amostragem dos Basaltos vesiculares inferiores.

Perfis	Amostragem
F7A	L21,P7,R17
F11	L36,P11,R4

4.2.18 Basaltos com disjunção colunar

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica, aproximadamente de 2,3 km², tratando-se da terceira maior unidade aflorante na área de estudo, com espessuras variando entre 1,5 e 5 m. Os afloramentos desta unidade observam-se especialmente nas achadas litorais, como é o exemplo da Achada Santo António, Achada Baixo, Achada do Palmarejo e no pequeno plateau onde está situado o Quartel-Escola da Polícia.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

As plataformas lávicas correspondem a extensas superfícies aplanadas desenvolvidas sobre os mantos de natureza essencialmente basáltica, embora se admita que algumas das achadas, acima dos 60 m, correspondam, também, a antigos níveis de praia ou a terraços marinhos fossilizados (Assunção, 1968).

Natureza litológica

Os materiais basálticos apresentam tonalidades de cinzento claro a cinzento-escuro. Exibem textura afanítica, por vezes com manchas negras de alteração com dimensões médias na ordem 1-2 mm de diâmetro sendo as maiores de dimensões até 5 mm de diâmetro médio.

Estrutura litológica

Apresentam estrutura em camadas “lajes” ou em disjunção colunar, prismática. A blocometria é bastante heterogénea representada por blocos que têm uma espessura cerca de 3-5 cm (L3) no mínimo, com média 8-25 cm (L4) e dimensão máxima de 30 cm (L5).

O espaçamento das discontinuidades observadas pode organizar-se em quatro famílias com direcções N30°E, N20°W, N80°E e N60°W, apresentando valores de espaçamento médio entre 3 e 6 cm (E3,4,5) muito próximo a moderado, com valor máximo de 20 cm; a abertura das discontinuidades apresenta pouca variabilidade, apresentando-se com valor médio inferior a 1,0 cm (aberta), embora nalguns afloramentos observa-se discontinuidades com abertura de 0,5-3 cm (aberta a muito aberta).

As direcções preferenciais da estratificação dos afloramentos são, N20°W, N60°W, N40°E, N80°E, E-W, com inclinações médias de 60°SE ou 60°SW; nalguns afloramentos a atitude é N20°-40°W; sub-vertical.

Características de estado *in situ*

Os materiais apresentam-se medianamente compactos a muito compactos à percussão, predominantemente frescos ou são (W1), algo alteradas (W2) no topo dos afloramentos, em que se verifica a presença de uma camada superficial acastanhada ou amarelada.

Na tabela 4.16, apresenta-se a amostragem realizada em cinco perfis tipo.

Tabela 4.16 - Amostragem dos Basaltos com disjunção colunar.

Perfis	Amostragem
F4	L7,P3
F5	S53,G53,L18,P6,R28
F8	L23,P8,R15
F11	L37,P12,R10
F20	L65,P15

4.2.19 Basaltos com disjunção esferoidal

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente 2 km². Apresenta espessuras médias dos afloramentos de cerca de 3 m. Os afloramentos desta unidade aparecem representados essencialmente nas achadas litorais, como são os exemplos da Achada Furada e Achada do Palmarejo.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade dos Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Natureza litológica

Os basaltos apresentam cor cinzenta com predomínio de tonalidades cinzenta esverdeada, esverdeada amarelada, com patine superficial de cor amarelada; com textura afanítica, observam-se manchas esbranquiçadas de pequenas dimensões, que podem ser julgadas como produtos de alteração, as quais apresentam dimensões médias na ordem de 1-2 mm de diâmetro.

Estrutura litológica

Esta unidade exhibe uma estrutura ou disjunção em “bolas” e em “lajes”, em que a disjunção esferoidal ou “casca de cebola” (camadas esferoidais a bolas) encontra-se nos níveis superiores e a estrutura em “laje” (camadas) dispõe-se nos níveis inferiores. Tanto as “lajes” como as “bolas” estão organizadas em bancadas de 20-30 cm de espessura média.

As descontinuidades apresentam uma abertura inferior a 1 cm; o espaçamento entre as descontinuidades é caracterizada pelo domínio da classe (E4), ou seja o intervalo 8-20 cm; as direcções preferenciais de três famílias de descontinuidades observadas são genericamente, N40°-60°W, N-S e N80°E; sub-verticais.

Características de estado *in situ*

Os materiais apresentam-se quanto à percussão pouco a medianamente compactos; o estado de alteração é pouco a moderadamente alterado (W2,3). Num dos afloramentos estudados (Achada Furada) observa-se particularmente uma descontinuidade entre a estrutura em bolas e em lajes, com direcção N-S.

A caracterização da unidade foi feita a partir do perfil 7B, onde se localizam as amostras S10,G10,L22 e R25.

4.2.20 Basaltos vesiculares intermédios

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente de 2,8 km², tratando-se da segunda maior unidade aflorante na área de estudo. Apresenta 1 a 2 m de espessura média, podendo atingir valores máximos da ordem de 3 m. Os afloramentos desta unidade estão presentes em áreas restritas na Achada do Palmarejo e a Leste de Monte Ilhéu. Equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade dos Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Natureza litológica

Os materiais são de natureza basáltica, e apresentam cor variável desde negra acinzentada, cinzenta escura ou castanha escura a cinzenta acastanhada.

A textura é afanítica a microfanerítica com olivinas alteradas de 1-2 cm, em nódulos ou com aspecto vesicular a amigdalóide (figura 4.31), geralmente sem a presença de carbonatos (calcite) a preencher as cavidades.

Estrutura litológica

A unidade exhibe uma estrutura litológica variada, encontrando-se quer aspectos de disjunção esferoidal, em blocos irregulares e dispersos, quer disposição em camadas. Os materiais apresentam-se porosos, micro-vesiculares, mas predominantemente vesiculares/vacuolares, em que as cavidades podem atingir as dimensões de 1-3 cm. As espessuras dos blocos, bolas ou camadas variam desde 8-160 cm (L2,3,4); a abertura das descontinuidades é constante na ordem dos 0,3-0,5 cm, tendo o espaçamento entre as descontinuidades um predomínio da classe de valores entre os 6-20 cm (E3,4).

Características de estado *in situ*

Os materiais desta unidade apresentam-se medianamente compactos a pouco compactos, com grau de alteração a variar entre o pouco alterado (W2) e o moderadamente alterado (W3).

Esta unidade não está representada em perfil, mas realizou-se a amostragem em duas zonas, na Estrada de Pensamento, tendo-se recolhido as amostras L76, P23 e na Achada Santa Isabel, a amostra R27.



Figura 4.31 - Estrutura amigdalóide dos Basaltos vesiculares intermédios.

4.2.21 Basaltos olivínicos

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente, 1,8 km², em que os afloramentos apresentam espessuras médias no intervalo 1,7 a 10 m. Os afloramentos desta unidade estão concentrados, nomeadamente, nas áreas do Monte ilhéu, Chão de Lemão, talude da estrada do Hospital da Trindade e na Achada de São Felipe.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Natureza litológica

A unidade apresenta natureza basáltica, com cor cinzenta a cinzenta anegrada ou castanha escura. Os materiais exibem textura afanítica a microfanerítica com cristais de olivinas, geralmente alteradas, com dimensões médias até 5 mm.

Estrutura litológica

São observáveis estruturas líticas sob a forma de disjunção em camadas, laminar, ou esferoidal, de forma irregular e com estrutura micro-porosa a porosa. O aspecto de disjunção esferoidal observa-se essencialmente na base das camadas laminadas e no topo.

A blocometria é definida por “lajes” e “bolas” com dimensões variando de intervalos 20-30 cm, 50-70 cm, 0,90-1 m de diâmetro, situadas nas classes de valores de espessura L2, L3 e L4. As descontinuidades apresentam abertura média de 0,1- 2 cm e espaçamento de 5-15 cm (4,5), dispondo-se em padrão radial.

As atitudes da estratificação dos afloramentos rochosos são: N-S; 20°W a 45°SW e E-W; sub-vertical.

Características de estado *in situ*

A unidade apresenta carácter alternante entre materiais com diferentes competências, com resultado da pouca ou moderada espessura dos estratos e a limitada expressão cartográfica da unidade. Esta unidade está marcada por uma elevada heterogeneidade quanto à percussão e alteração, com materiais friáveis, pouco compactos a medianamente compactos. O estado de alteração varia desde o pouco alterado (W2), moderadamente (W3) a muito alterado (W4).

4.2.22 Basaltos amigdalóides

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica aproximadamente de 0,20 km², com espessura entre 15 a 20 m. Os afloramentos desta unidade encontram-se limitados à encosta Oeste da Achada de São Felipe Meio e a Leste da Ribeira de Laranjo.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Natureza e estrutura litológica

Os materiais basálticos exibem cor cinzenta clara a cinzenta-escura. Apresentam vesículas e cavidades de tamanho amigdalóide (3,5-4 cm de diâmetro; figura 4.32) preenchidas por carbonatos e/ou zéolitos.

A estrutura da unidade apresenta-se maciça e estratificada, com camadas com espessura média de 25-30 cm de espessura (L4). Observam-se várias famílias de descontinuidades, com abertura média de 0,1- 3 cm, exibindo espaçamento médio entre 10-30 cm (E3,4).

As descontinuidades estão preenchidas por carbonatos e/ou zéolitos. O topo do afloramento apresenta a maior quantidade de estruturas vesiculares e amigdalóides, e impregnação de carbonatos.

Características de estado *in situ*

São materiais medianamente compactos a muito compactos, em que o estado de alteração pode ser considerado geralmente pouco a moderadamente alterado (W2,3); observa-se uma patine superficial amarelada, exibindo uma alteração ligeiramente maior.

A amostragem da unidade, representada pelas amostras S67, G67, L51, P14 e R20, foi obtida a partir do perfil F15.



Figura 4.32 - Amígdalas preenchidas por carbonatos (Basaltos amigdalóides).

4.2.23 Basaltos vesiculares superiores

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica, aproximadamente de 1,7 km². Com espessuras na ordem dos 8 m. Os afloramentos desta unidade ocupam locais essencialmente localizados a Norte do Monte Gonçalo Afonso, e na Achada de São Felipe.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade dos Basaltos subaéreos do Complexo Eruptivo Pico de Antónia (Bernard-Griffiths *et al.* 1975; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Miocénica - Pliocénica. Possivelmente equivalente aos produtos lávicos e piroclásticos da Formação da Assomada e da Formação dos Montes das Vacas (Johnson *et al.* 2012).

Natureza litológica

Os materiais são de natureza basáltica, cor negra acinzentada, cinzenta escura ou castanha escura a passar para cinzenta acastanhada.

A textura é afanítica a microfanerítica com minerais de olivina alterados, com 1-2 cm de dimensão; podem ainda apresentar carbonatos (calcite) a preencher as cavidades, em nódulos ou com aspecto amigdalóide.

Estrutura litológica

A estrutura da unidade apresenta-se sob a forma de camadas por vezes com acentuada disjunção esferoidal, originando blocos irregulares dispersos. Os materiais são porosos, micro-vesiculares, mas predominantemente vesiculares/vacuolares em que as cavidades podem atingir dimensões médias de 2-3 cm.

As camadas apresentam espessuras centimétricas com valores médios entre 10-40 cm (L 2,3,4).

As observações efectuadas sobre a abertura das descontinuidades permite concluir que é apertada para a generalidade dos casos, situando-se entre os valores de 0,3 a 0,5 cm, e o espaçamento das descontinuidades situa-se nas classes E3,4, ou seja exibe valores entre 15-35 cm de média. A estratificação apresenta atitude genérica N-S; 45° W e N20°; 10°SE.

Características de estado *in situ*

Genericamente as escoadas basálticas vesiculares superiores apresentam-se medianamente compactas a pouco compactas e o estado de alteração é pouco a moderadamente alterado (W2,3), em especial à superfície, dominado por uma patina de alteração fina e mais clara.

A amostragem e caracterização da unidade foram realizadas a partir de dois perfis, como é referido na tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Amostragem dos Basaltos vesiculares superiores.

Perfis	Amostragem
F15	L83,P25
F17	S56,G56,L58; S12,G12,L59

4.2.24 Depósitos de lapilli estratificados

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica, aproximadamente de 0,61 km², e espessura entre 3,2 e 5 m. Aparece representada nas áreas de Monte Vermelho, Achada Furada, Achada do Palmarejo e nas proximidades de Tira-Chapéu.

Unidades geológicas equivalentes

É Equivalente à Formação do Monte das Vacas (cones e derrames de piroclastos; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea e idade Quaternária.

Natureza litológica

Constituída por materiais basálticos de cor vermelha, castanho avermelhado a vermelho alaranjado. Os piroclastos são de várias dimensões desde lapilli (entre 2-64 mm) a escórias (> 64 mm; fragmentos de lavas). Os materiais são areníticos e microconglomeráticos, heterométricos, de grão médio a grosseiro com forma angulosa; os piroclastos apresentam-se em várias dimensões de 20-50 cm em média. Observa-se uma crosta calcária nos materiais piroclásticos, o que lhes confere uma tonalidade esbranquiçada.

Estrutura litológica

Os piroclastos são muito porosos e encontram-se meteorizados ou desagregados, deixando de ter aspecto granular, para passarem a converter-se em níveis de materiais mais finos.

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

Observam-se descontinuidades com várias direcções com aberturas muito reduzidas de 1 a 5 mm. O espaçamento das descontinuidades situa-se na classe E4 (6-20 cm).

Características de estado *in situ*

Os materiais piroclásticos desagregam-se facilmente à percussão, ou seja são friáveis a pouco compactos; o estado de alteração é W4 (muito alterado). Localmente observam-se descontinuidades com uma crosta calcária superficial, limitando duas zonas com tons à superfície distintos (avermelhado e esbranquiçado).

As direcções da unidade variam entre N70° a E-W, com pendores acentuados na ordem dos 60°-82°S. Para a caracterização da unidade recolheram-se as amostras do perfil F9A, designadas por S31, G31, L27, R16, S41, G41 e L28.

4.2.25 Depósitos de lapilli litificados

Expressão cartográfica

Unidade com fraca expressão cartográfica de aproximadamente 0,10 km², em que os depósitos registam espessuras variáveis entre 1 e 15 m. Aparecem representados na zona do Monte Vermelho/Achada Furada.

Unidades geológicas equivalentes

É equivalente à Formação do Monte das Vacas (Cones e derrames de piroclastos; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Quaternária.

Natureza litológica

Unidade constituída por materiais piroclásticos de natureza basáltica de grão fino a muito fino, pelíticos com tons genericamente esverdeados ou anegrados metálicos a alaranjados. Existem do seio destes materiais alguns níveis, ou localizados no topo dos afloramentos, resultantes da desagregação e meteorização dos materiais.

Estrutura litológica

Genericamente os materiais apresentam-se sem estrutura e de aspecto granular. Os fragmentos de escórias presentes são muito porosos e, por vezes, encontram-se soldados entre si. Aparecem ainda materiais grosseiros, conglomeráticos, heterométricos, de cor negra, com forma arredondada (bombas), angulosos a sub-angulosos (blocos), com dimensões médias de 20-50 cm, podendo atinir 1-2 m de diâmetro (bombas).

Características de estado *in situ*

Desagregam-se facilmente à percussão, ou seja são friáveis a pouco compactos; o estado de alteração situa-se entre os níveis de moderadamente a muito alterado (W3,4).

Para caracterização da unidade seleccionou-se o perfil F9B, onde se recolheram as amostras S49, G49, L29, R22, S25, G25 e L30.

4.2.26 Depósitos escoriáceos grosseiros

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente 0,31 km², apresentando acentuadas variações locais de espessura entre 3,2 a 30 m. Aparece representada na zona de Monte Vermelho (cume dos cones de piroclastos).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à Formação do Monte das Vacas (Cones e derrames de piroclastos; Serralheiro, 1976), de fácies subaérea, de idade Quaternária.

Natureza litológica

Unidade constituída por materiais piroclásticos de natureza basáltica, de cor anegrada com veios esbranquiçados.

Os piroclastos (lapilli) são angulosos a sub-angulosos, de grão fino a médio (pelítico, arenítico). Existem fragmentos de lavas (em forma de fitas) intercaladas nos materiais, em que os fragmentos são muito porosos e de aspecto granular. Observa-se uma crosta nos materiais, o que lhes confere uma tonalidade esbranquiçada.

Estrutura litológicas

Trata-se de materiais com estratificação mostrando atitude pendor acentuado na ordem dos 45°-50° onde se observam os distintos momentos de deposição, marcando superfícies de deposição. A espessura dos corpos ou níveis estratificados é reduzida, situando-se em valores de 3-5 cm (L5). Observam-se descontinuidades em várias direcções, com espaçamento reduzido na classe E4 (6-20 cm).

Características de estado *in situ*

Os depósitos encontram-se localmente pouco compactos e com estado fresco ou são (W1), ou são friáveis e apresentam um grau de alteração W4 quando se encontram à superfície, ou em níveis superiores dos afloramentos.

4.2.27 Depósitos de cascalheiras

Expressão cartográfica

Unidade com expressão cartográfica de aproximadamente 1 km² de representação, englobando manchas com expressão muito diversa. Os afloramentos com maior volume de cascalheiras situam-se na Fazenda/Várzea, em Tira-Chapéu, na Ribeira de Pensamento e na Ribeira de Laranjo, podendo atingir espessuras máximas de 1,5 m. Outros depósitos de menores dimensões estão dispersos em áreas como a Ribeira de Pensamento, Trindade e a Oeste de Saco (Sul do Monte Ilhéu).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalentes à Formação de rochas sedimentares, unidade das Cascalheiras de fácies terrestre (in Serralheiro, 1976), de idade Pliocénica, que constituem pequenos terraços fluviais.

Natureza e estrutura litológica

Os materiais apresentam uma matriz de natureza basáltica, arenítica a micro-arenítica, siltosa, de cor castanha escura, com uma representação de 20%. São constituídos por calhaus, de natureza basáltica, de cor escura, com tons anegrados, acinzentados a acastanhados, numa representação total de 80%, com textura afanítica. Granulometricamente ocorrem blocos de forma irregulares ou mal rolados que atingem 2 m de diâmetro, sendo que a média dos blocos tem 50-60 cm de diâmetro. Muitos dos depósitos de cascalheiras (figura 4.33) analisados apresentam 2 a 4 eventos ou episódios de deposição bem definidos.



Figura 4.33 - Depósitos de cascalheiras (Ribeira de Laranjo).

Características de estado *in situ*

As características *in situ* estão dependentes essencialmente da expressão volumétrica da unidade, da organização dos corpos, da representação local dos corpos conglomeráticos e do grau de maturidade da matriz.

Os Depósitos de cascalheiras quando caracterizadas com a percussão, são compactos a muito compactos.

4.2.28 Materiais detríticos grosseiros de vertente

Expressão cartográfica

Unidade representada por manchas cartográficas com distinta expressão areal, e que na área de estudo totaliza aproximadamente 0,98 km². Encontra-se particularmente representada nas encostas dos Montes Ilhéu e Babosa. A expressão volumétrica atinge 1 a 10 m de espessura, apresentando contudo grandes variações locais.

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente à unidade de rochas sedimentares Quaternárias do Holocénico (Serralheiro, 1976), com fácies terrestre.

Natureza e Estrutura litológica

Constituída por um conjunto de depósitos associados à evolução das vertentes e resultantes do transporte hídrico, com maior ou menor expressão, e/ou movimentos de gravidade. Podem-se acumular na base das vertentes, organizando-se em corpos frequentemente embutidos e internamente com diferentes graus de organização, podendo observar-se localmente estruturas estratificadas.

Estes materiais de acumulação são homogéneos quanto à natureza (basáltica) e de cor negra a negra acinzentada. Quanto à organização, espessura e forma são bastante heterogéneos e apresentam-se em “caos de blocos”, heterométricos, atingindo dimensões médias de alguns centímetros a 2-3 m, dispersos pelas vertentes, com forma sub-angulosa, sub-rolada a rolada.

Os materiais que os constituem apresentam textura afanítica ou microfanerítica, em que se observam minerais de plagioclase, feldspato, magnetite/maghemite, hematite, dolomite e esporadicamente, ilmenite.

Características de estado *in situ*

As características *in situ* são variáveis, na dependência essencialmente da espessura dos depósitos, do grau de organização destes ou dos corpos constituintes, da selecção granulométrica do material e da maturidade do material transportado.

Os materiais de acumulação apresentam-se genericamente muito compactos à percussão e com aspecto fresco ou são (W1). A amostragem foi efectuada pelas amostras (blocos) L32 e P10 dizendo respeito ao perfil F10.

4.2.29 Depósitos aluvionares

Expressão cartográfica

Apresentam expressão cartográfica com cerca de 1,6 km². A expressão volumétrica é materializada por espessuras estimadas de 3-4 m, podendo atingir 10 m. Encontram-se representados nos vales das ribeiras e baixas ribeirinhas da área de estudo.

Natureza litológica

Unidade resultante da acumulação de materiais associados à dinâmica fluvial, nomeadamente por parte das ribeiras de Trindade, Laranjo, São Jorge, Palmarejo Grande e Palmarejo Pequeno. São constituídos por materiais de natureza basáltica e fonolítica.

Genericamente constituídos por corpos conglomeráticos de seixos e calhaus, corpos arenosos grosseiros a médios, corpos arenosos finos a siltosos ou pelíticos, com

heterogeneidade quanto à cor, podendo apresentar desde tonalidades anegradas a acinzentadas e acastanhadas.

Estrutura litológica

Materiais sem organização definida, mas por vezes os de maior calibre aparentam encontrar-se no topo, enquanto os de menor calibre (mais finos) se encontram na base, testemunhando assim uma gradação negativa.

A camada mais fina que se encontra para além da camada de topo constituída por elementos de maiores dimensões, já apresenta alguma organização na deposição em estratos, em que os elementos de maior dimensão se localizam na base. Observa-se pontualmente estratificação entrecruzada, com frequente observação da imbricação nos calhaus e laminação por parte das granulometrias mais finas na dependência de regimes torrenciais.

Os calhaus podem atingir os 2 m de diâmetro e apresentam heterogeneidade quanto ao grau de rolamento, ou seja, são mal rolados a bem rolados, exibindo arestas boleadas, indicativo de que houve transporte com posterior deposição e transporte.

Características de estado *in situ*

As características do estado *in situ* apresentam variações em função da graduação granulométrica, teor de humidade e profundidade.

O acesso às sondagens redigidas pelo LEC permitem considerar que os corpos apresentam, genericamente, compacidade relativa de muito solto a medianamente compacto (SPT 0-30 pancadas), mas registando para maiores profundidades (>10 m) um acréscimo de compacidade.

4.2.30 Depósitos de praia

Expressão cartográfica

Unidade com muito limitada expressão cartográfica, com aproximadamente de 0,06 km², representada pelos depósitos de areias das praias (e.g Praia da Gamboa, Quebra Canela e Prainha).

Unidades geológicas equivalentes

Equivalente parcialmente à unidade de rochas sedimentares Quaternárias do Holocénico (Serralheiro, 1976), fácies marinha, constituindo orlas de praia, foz das ribeiras e baixas ribeirinhas.

Natureza e Estrutura litológica

São constituídos por materiais arenosos de granulometria fina a média (figura 4.34) de natureza basáltica e fonolítica. Constituem camadas de areia e com especial desenvolvimento de dunas na Praia de Santa Maria (Gamboa). Apresentam cor clara,

amarelada e bege, observando-se minerais de dolomite, com concentrações intermédias e esporadicamente, ilmenite.





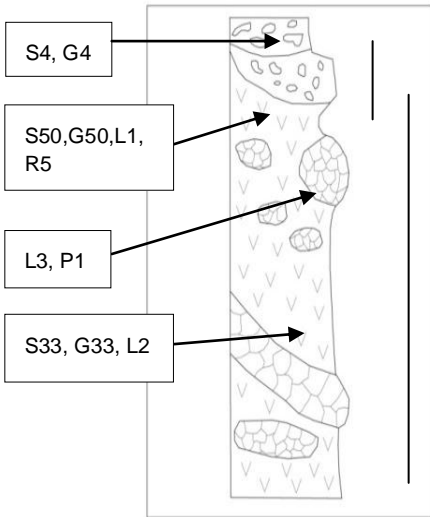

Figura 4.34 - Depósitos de praia (Praia).

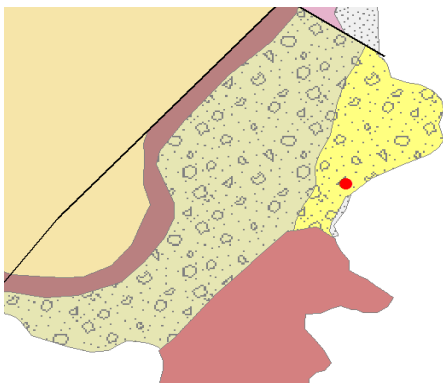

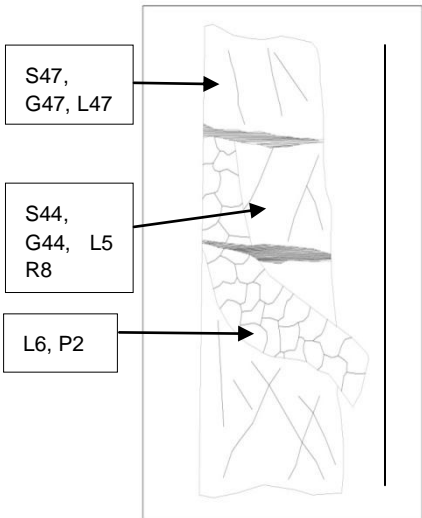

Apresentam-se no sub-capítulo 4.3, um conjunto de perfis tipo que caracterizam as diferentes unidades litológicas descritas, salientando as condições *in situ*.

4.3 Perfis Tipo das Unidades

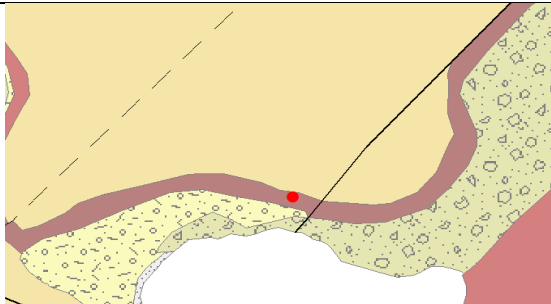

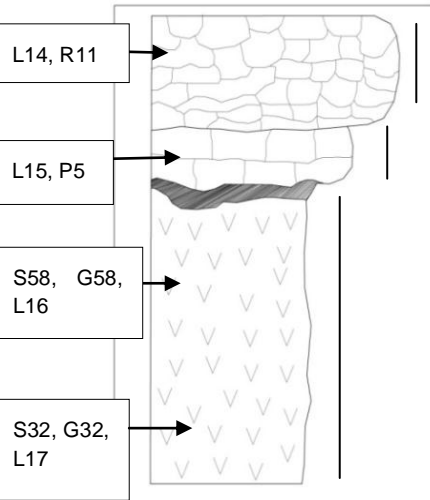

Passa-se a apresentar um conjunto sistematizado dos locais de observação, contextualizando o local e o perfil amostrado com apresentação de ensaios geotécnicos, geomecânicos e geoquímicos, assim como a descrição da natureza e estrutura litológica dos materiais.



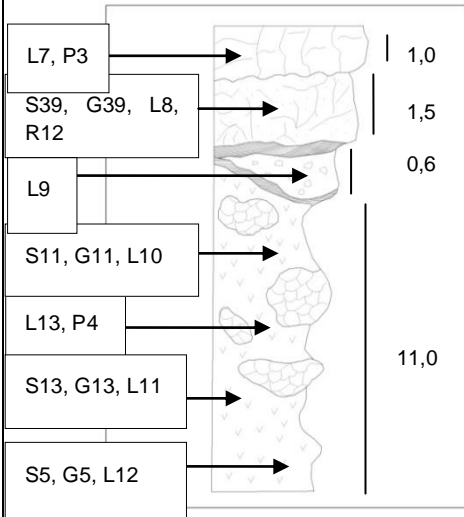

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F1 – Local de Observação de Chã de Areia			
Coordenadas: 229598; 1650129			
Altitude da base do perfil: 31 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura – Conglomerados			
Brechas hialoclastíticas			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
S4, G4		1,5	
S50, G50, L1, R5			
L3, P1		9,3	
S33, G33, L2			
Descrição			
<p>Solo de cobertura – Conglomerados – de natureza basáltica, de cor castanha escura, granulometria grosseira, com 30-40% de matriz arenítica e 60-70% de calhaus de natureza basáltica, em que os calhaus maiores têm natureza basáltica e apresentam no topo dimensões médias de 20-25 cm ou 10-15 cm, com forma rolada, e corpos mais finos na base em que os calhaus apresentam cerca de 5-10 cm e formas mais alongadas e achatadas. Trata-se de corpos não cimentados, desagregando-se com a percussão do martelo. Os corpos apresentam no perfil uma espessura de 1,5 m de espessura.</p> <p>Brechas hialoclastíticas – com 9,3 m de espessura e constituídas por materiais de cor esverdeada a acastanhada amarelada, de grão médio, friáveis à superfície e apresentando um grau de alteração W4. Os pequenos rolos com formas poligonais desagregam-se em materiais com granulometria arenítica e fragmentos de rocha, de natureza basáltica de cor acastanhada, azulada a acinzentada escura, sub-angulosos a sub-rolados de 2-5 cm em média, 5 a 30 cm os maiores, correspondendo a 30-40% do volume da rocha. Existem grãos que parecem corresponder a fenocristais de piroxena com cerca de 5-7 mm e são subarredondados; a matriz que constitui as brechas é arenítica, correspondendo a 60-70%; textura microfanerítica, com olivina, piroxena e/ou anfíbola e biotite, os maiores cristais com 1-2mm de dimensão, com hialoclastitos. Apresenta veios de calcite e/ou zéolitos a preencher as descontinuidades horizontais e verticais em que o espaçamento é E5 e atitude N40°W; 20°SW. Existe um filão com estrutura planar de natureza basáltica de cor castanha anegrada metálica, medianamente compacto, com textura afanítica, apresentando cristais milimétricos de biotite. O filão tem atitude N15°E; 70°ESE, 70 cm de possança e exibe estado de alteração W3, apresentando-se muito fracturado, com blocometria E3 e E4 (10-30cm) de forma irregular e espaçamento para as descontinuidades de E4.</p>			

F2 – Local de Observação da Prainha			
Coordenadas: 229831, 1649425			
Altitude da base do perfil: 15 m			
Unidades litológicas:			
Brechas hialoclastíticas litificadas			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
		2, 6	
Descrição			
<p>Brechas hialoclastíticas litificadas - maciço com 2,6 m de espessura, de cor esverdeada clara com matriz arenítica fina, representando cerca de 60% do volume, e com 40% de uma fracção arenosa grosseira ou brechóide, com dimensões de 1 mm-1cm, onde se observam minerais de biotite, olivina, piroxena, carbonatos e hialoclastitos, de dimensões médias < 1 mm e máxima de 1 mm. Os materiais apresentam-se moderadamente alterados, W3; com descontinuidades e com abertura de 2-3 mm a 1-1,5 cm, apresenta dois sistemas de descontinuidades ortogonais com espaçamento E4,5 e preenchidas por hialoclastitos. Existem filões, de natureza basáltica, encontra-se na base do afloramento um filão com 70 cm de possança e atitude N-S; 10°S, de cor cinzenta anegrada, textura afanítica, medianamente compacto, W2, pouco alterado, com blocometria cúbica, com espessura média L4.</p>			

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F3 – Local de Observação de Quebra-Canela			
Coordenadas: 229343, 1649301			
Altitude da base do perfil: 41 m			
Unidades litológicas:			
Basaltos maciços em rolos com carbonatos			
Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos			
Brechas hialoclastíticas			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
L14, R11		8,5	
L15, P5		1,5	
S58, G58, L16		10,0	
S32, G32, L17			
Descrição			
<p>Basaltos maciços em rolos com carbonatos – de cor negra a castanho-escuro, aspecto cavernoso, com hialoclastitos e rolos apresentando formas prismáticas, um tanto ou quanto irregulares, muito compactos, com aspecto são ou fresco, W1. Apresentam textura fanerítica, com minerais de olivina e biotite com dimensões médias <2 mm e os maiores com 4 mm. Os rolos ou blocos irregulares apresentam espessura média L3 (20-60 cm); observando-se alguns rolos com L2 (> 200 cm) e espaçamento E4 entre as descontinuidades ortogonais. Calcários com bioclastos com espessura máxima de 1,5 m, que vão decrescendo em espessura para leste do talude de estrada, exibindo tons claros, amarelados a beges. Apresentam bioclastos (20%) e uma matriz de natureza calcarenítica (80%) - biosparrito, apresentando estrutura estratificada com fractura concoidal, micro porosa, muito compactos a medianamente compactos à percussão, W1, com blocometria E3 (cerca de 20 cm).</p> <p>Brechas hialoclastíticas – depósitos com 10 m de espessura e atitude: N70°W; 20°SW com cor esverdeada, estado de alteração W4 e friáveis à superfície. Os rolos submarinos de cor negra metálica, por vezes apresentam formas prismáticas que se desagregam originando um material com granulometria arenítica grosseira, com fragmentos, de natureza basáltica, sub-angulosos a sub-rolados de 4-6 cm de diâmetro médio, os maiores com 6 a 30 cm (heterométricos) representando 30%-40% da rocha no seio de uma matriz fonolítica e basáltica, com 60% a 70% de volumetria. Os materiais exibem uma textura microfanerítica na generalidade com olivina, piroxena e biotite, em que os maiores cristais têm 1-2 mm de dimensão; ocorrem hialoclastitos.</p>			

F4 – Local de Observação de Ribeira do Palmarejo Pequeno			
Coordenadas: 228769, 1649967			
Altitude na base do perfil: 50 m			
Unidades litológicas:			
Basaltos com disjunção colunar			
Basaltos maciços em rolos			
Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos			
Brechas hialoclastíticas			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
			
Descrição			
Basaltos em disjunção colunar - maciço, com blocos de forma colunar, de cor cinzenta escura anegrada, textura afanítica, muito compacto, W1, espaçamento das descontinuidades ortogonais E4. Atitude genérica N40°W; sub-vertical, com 1 m de espessura.			
Basaltos maciços em rolos – com 1,5 m de espessura de cor castanha escura a negra e estrutura maciça, medianamente compactos e W3,4 de grau de alteração. Apresentam textura afanítica em que a forma dos blocos é em rolos prismáticos, de espessura L3. O espaçamento das descontinuidades é de E5, com 0,5-0,8 cm de abertura. Apresenta uma patina de alteração superficial, de cor castanha avermelhada. Atitude N40°W; 35° NE.			
Conglomerados de grão grosseiro - dispostos em camadas, com atitude N60°W; 10°NE; com espessura centimétrica na ordem de 60 cm, de tons amarelados, apresentando-se medianamente compactos e com um estado de alteração W2. Os clastos são de natureza basáltica, arredondados, heterométricos, evidenciando várias dimensões, os maiores com 20-30 cm, médios com 10-15 cm e os menores com 1-5 cm, constituindo um total de 80% na rocha. O cimento destes corpos é de cor clara, calcarenítico, representando 20% do volume. Os conglomerados têm uma estrutura lenticular truncada (discordância) por um pequeno domo pertencente às Brechas hialoclastíticas.			

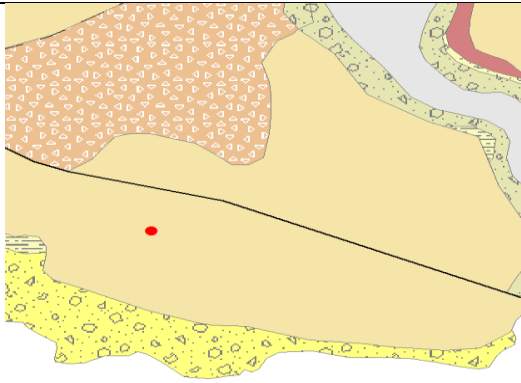

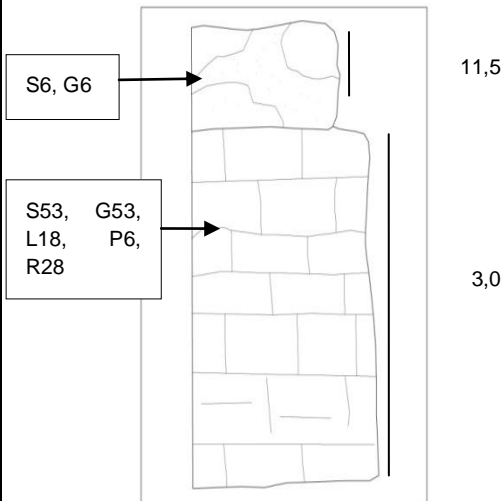

F4 – Local de Observação de Ribeira do Palmarejo Pequeno – continuação.

Brechas hialoclastíticas – exibem uma organização em três níveis diferenciados, interceptados por três domos. Nível do topo: corpo friável, muito alterado, W4, com atitude N20°-40°W; 30°NE e com espessura de 5 m. Apresenta cor verde acastanhada, os fragmentos são de natureza basáltica e fonolítica, com textura afanítica, forma irregular, de dimensões 1,5- 2 cm, constituindo 60% no total do corpo, no seio de uma matriz arenítica, que representa 40%. Trata-se de um depósito com fragmentos derivados da desagregação de rolos (*pillow-lavas*) e brechas, podendo observar-se sedimentos mais finos (argilas, piroclastos) e, níveis de calcite e com hialoclastitos.

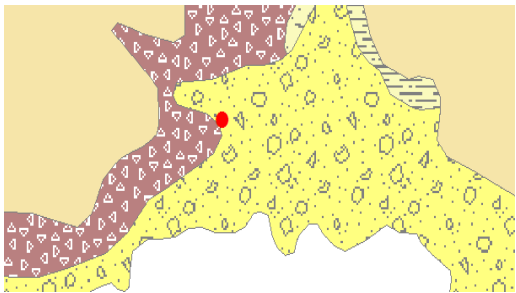

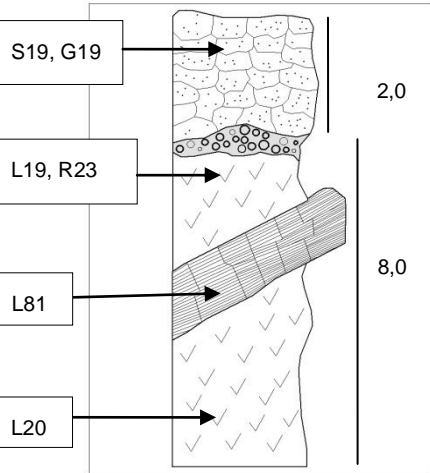

Nível central - nível brechificado, friável e muito alterado, W4 com atitude N20°-40°W; 30°NE; espessura de 3,5 m. Apresenta cor verde acastanhada com fragmentos de cor branca (caulinite?) e de cor escura metálica, com brechas de natureza basáltica e fonolítica, com textura afanítica de forma irregular, com dimensões 1,5-2 cm, constituindo 60% no total da formação. A matriz é arenítica, correspondendo aos restantes 40%. Observa-se um depósito com fragmentos de rolos (*pillow-lavas*) e brechas com intercalação de sedimentos mais finos (argilas, piroclastos) e alguns níveis de calcite e com hialoclastitos.

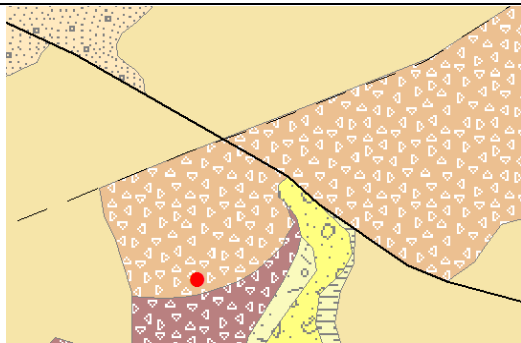

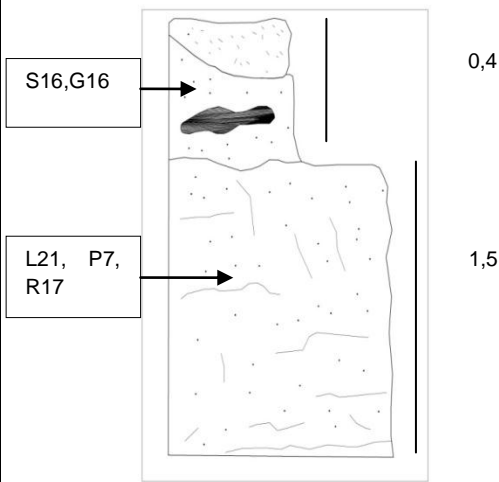

Nível da base – Corpo mais compacto à superfície que os sobrejacentes e mais brechificado, muito alterado, W4, atitude N50°-70°W, 30°NE; espessura de 2,5 m. Apresenta cor avermelhada, com calhaus de cor castanha avermelhada, de natureza basáltica, de forma irregular, com dimensões 3-4 cm, constituindo 60% no total da formação; a matriz é microconglomerática, correspondendo aos restantes 40%. Os fragmentos apresentam textura afanítica e são compactos. Tal como nos níveis superiores observa-se um depósito com pequenos rolos de forma prismática, com secção quadrangular e arestas bem definidas, pequenos fragmentos derivados da desagregação dos rolos (*pillow lavas*) e brechas; ocasionalmente observa-se sedimentos mais finos (argilas, piroclastos) e níveis de calcite, bem como hialoclastitos.

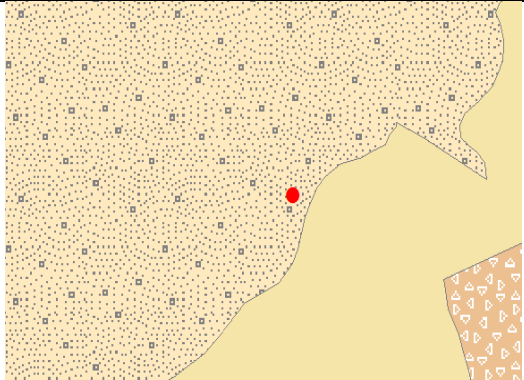

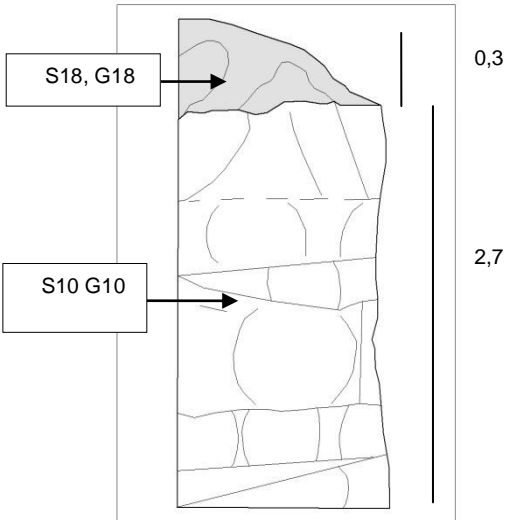

O primeiro domo, com atitude N40°W; 20°NE, e possança de 1 m trunca os conglomerados. É de natureza basáltica, cor negra, com textura microfanerítica, constituído por minerais de olivina com dimensões médias <2 mm e os maiores com dimensões de 5 mm. Apresenta estrutura medianamente compacta, pouco alterada, W2 e descontinuidades com 1-1,5 cm abertura. O segundo domo, com atitude N60°W; 10°NE e possança de 1,5 m intercepta o nível de topo, é de natureza basáltica, cor negra, com textura microfanerítica, constituído por minerais de olivina com dimensões médias <2 mm, sendo os maiores de dimensão até 5 mm. De estrutura medianamente compacta, pouco alterada, W2, apresenta descontinuidades com 1-1,5 cm de abertura. O terceiro domo, com atitude N20°W; 10°NE e possança de 1 m, aparece no nível base, é de natureza basáltica, cor negra, com textura microfanerítica, constituído por minerais de olivina com dimensões médias <2 mm e os maiores com dimensão de 5 mm. De estrutura medianamente compacta, pouco alterada, W2, apresenta descontinuidades com 1-1,5 cm de abertura.

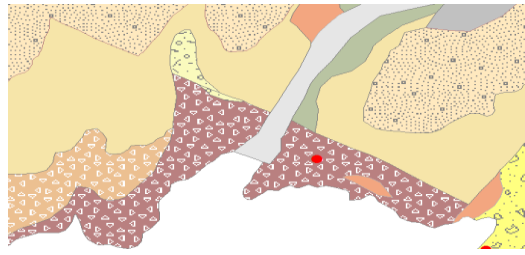

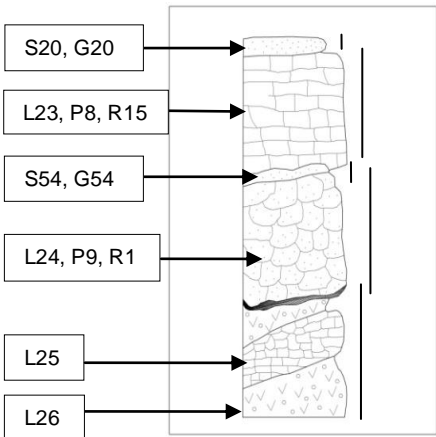

F5 – Local de Observação de Achada de Baixo			
Coordenadas: 228189, 1649396			
Altitude da base do perfil: 36 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura - Microconglomerados			
Basaltos com disjunção colunar			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
			
Descrição			
<p>Solo de cobertura – corpo microconglomerático com 1,5 m de espessura de natureza basáltica, cor acastanhada, com calhaus de textura afanítica de dimensões médias na ordem dos 5 mm e os maiores com 3 cm, representando os calhaus 30% e a matriz é fina 70% do volume. Exibe carácter friável e alteração de grau W5.</p> <p>Basalto com disjunção colunar – observa-se estratificação com duas direcções preferenciais: N80°E; 60°SE e N60°W; 60°SW, espessura de 4 m, cor cinzenta a cinzenta esverdeada para níveis do topo, textura afanítica onde aparecem manchas com minerais negros com dimensões médias na ordem <=1 mm; com os maiores a atingir 2 mm. A blocometria é definida por estrutura em camadas. Os materiais exibem disjunção esferoidal, sendo medianamente compactos e pouco alterados (W2). Os blocos têm uma espessura cerca de 3-30 cm (L3,4,5), sendo o espaçamento das descontinuidades (N30°E e N20°W) do tipo E4, e apresentando abertura <1 cm.</p>			

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

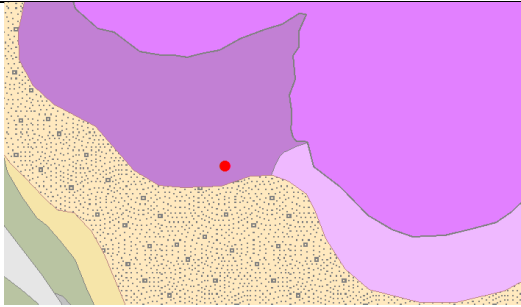

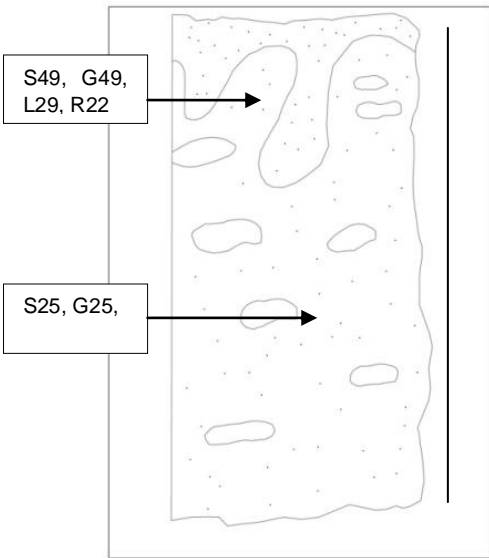

F6 – Local de Observação da Cova Minhoto			
Coordenadas: 227751, 1649349			
Altitude da base do perfil: 21 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Basaltos vesiculares em rolos			
Brechas hialoclastíticas litificadas			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
<p>S19, G19</p> <p>L19, R23</p> <p>L81</p> <p>L20</p>		<p>2,0</p> <p>8,0</p>	
Descrição			
<p>Solo de cobertura – com 40 cm de espessura, de natureza areno-pelítica, de cor castanha, matriz basáltica, arenosa a pelítica representando 80% do volume, com pequenos calhaus de cor castanha, de 1-2 cm, com 20% de representação. Basaltos vesiculares em rolos – 2 m de basaltos negros acinzentados, atitude: N40°E; 35°SE, formado por lavas em rolos, com forma prismática a irregular, que se apresentam muito compactos e por brechas medianamente compactas, com grau de alteração W1/W2. As lavas em rolos e as brechas têm textura afanítica, com cavidades ocas preenchidas por carbonatos. Entre os rolos existe uma brecha de cor castanha clara com matriz arenítica de natureza hialoclastítica, correspondendo a 40% da rocha, com auto-clastos sub-angulosos com 3-4 cm de dimensão média, maiores com 8-12 cm e forma irregular, representando 60% do volume. A espessura dos blocos (dos rolos) pode ser caracterizada de L3,4, com espaçamento entre descontinuidades de E4. A descontinuidade entre a unidade e a subjacente é feita através de um nível de conglomerados com espessura de 70 cm, em que a matriz é basáltica de cor anegrada a negra acinzentada, os clastos basálticos e rolados, de cor negra acinzentada, tendo os calhaus dimensões médias de 3-4 cm e os maiores atingindo 6-8 cm. Brechas hialoclastíticas litificadas – constituídas por materiais brechóides, com 6 m de espessura, atitude N-S; 20°E, de cor acastanhada clara, com auto-clastos de natureza basáltica de cor castanha e negra, granulometria grosseira, sub-angulosos, dimensões de 0,5-2 cm, representando 50% do volume, aglutinados por um cimento arenítico, basáltico e com hialoclastitos disseminados. Os materiais apresentam-se medianamente compactos e, moderadamente alterados. Aparece ainda representado um filão, de cor negra, com atitude N-S; 45°W, espessura de 8 m, com textura afanítica. Muito compacto, estado de alteração W1, constituído por blocos de forma cúbica, com L3 de espessura, e espaçamento das descontinuidades, E4.</p>			

F7A – Local de Observação de Achada Furada	
Coordenadas: 227780, 1649516	
Altitude da base do perfil: 41 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura - Conglomerados	
Basaltos vesiculares inferiores	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Solo de cobertura – constituído por conglomerados em que o primeiro nível, de 40 cm de espessura, apresenta cor castanha escura, matriz de natureza basáltica, conglomerática, correspondendo a 60% do volume da rocha, sendo os calhaus de natureza basáltica, angulosos, sub-angulosos a sub-rolados, representam 40% do volume do corpo, e exibindo tamanhos máximos de 10 cm e médios de 2-4,5 cm. Apresenta-se friável, com um estado de alteração W5. O segundo nível tem cor acastanhada clara, matriz de natureza basáltica, microconglomerática, correspondendo a 80%, com intercalações lenticulares de material alaranjado. Os calhaus são de natureza basáltica, angulosos, sub-angulosos a sub-rolados, representando 20% da rocha, com tamanhos máximos de 6 cm e médios de 2-4 cm. Igualmente friável, com estado de alteração W5, apresenta uma espessura de 60 cm.</p> <p>Basaltos vesiculares inferiores – corpo de 1,5 m de espessura, de cor cinzenta anegrada, textura afanítica, com poucos minerais de moscovite (1 mm de dimensão maior) e olivinas alteradas (1-5 mm de dimensões maiores), Apresentam disjunção em blocos irregulares (L3,4), porosos a vesiculares, sendo o nível inferior mais poroso ou vesicular. Medianamente compactos a pouco compactos; alteração com características W2. O espaçamento entre as discontinuidades é apresenta-se na classe E3,4, exibindo abertura das discontinuidades de 0,3-0,5 cm, com família principal de atitude E-W; 30°S.</p>	

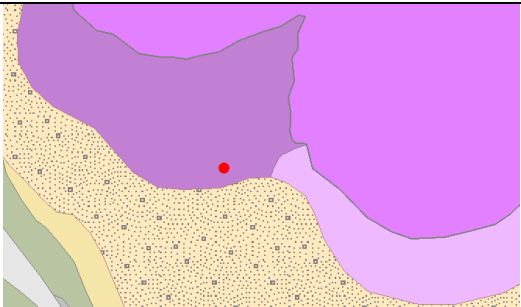

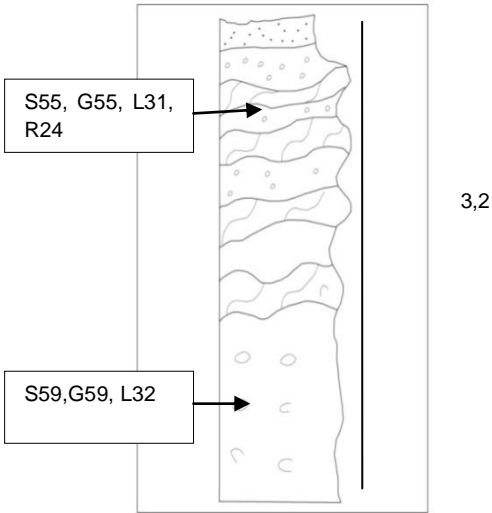

F7B – Local de Observação da Achada Furada	
Coordenadas: 227533, 164966	
Altitude da base do perfil: 49 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Basaltos com disjunção esferoidal	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição Solo de cobertura – com cerca de 30 cm de espesura é representado por um conglomerado de cor acastanhada clara, com matriz de natureza basáltica, brechóide a micro-conglomerática; representando 20% do volume da rocha, em que os calhaus basálticos arredondados a sub-arredondados com dimensões médias de 2-3 cm, representa os restantes 80%. Apresenta um grau de alteração W5. Basalto com disjunção esferoidal – com uma espessura de 2,7 m exibe cores cinzenta esverdeada a esverdeada amarelada, textura afanítica, em que a alteração superficial origina manchas esbranquiçadas. Apresentam-se pouco compactos e moderadamente alterados (W3); demonstram uma disjunção esferoidal “casca de cebola” nos níveis superiores e nos níveis inferiores a estrutura em laje (camadas) está preservada; quer as lajes (camadas) quer as bolas têm 20-30 cm de espessura (L3). As discontinuidades apresentam uma abertura de 0,5 cm, e espaçamento E4, em que as direcções preferenciais são N40º-50ºW e N-S; 50ºW. A discontinuidade entre a estrutura em bolas e a estrutura em lajes tem direcção genérica N-S; 5ºW.	

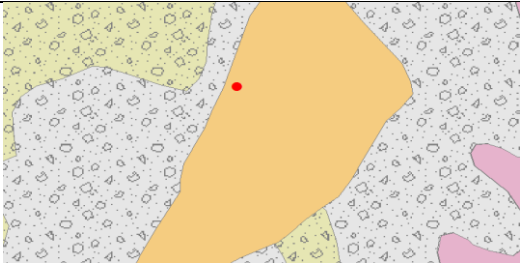

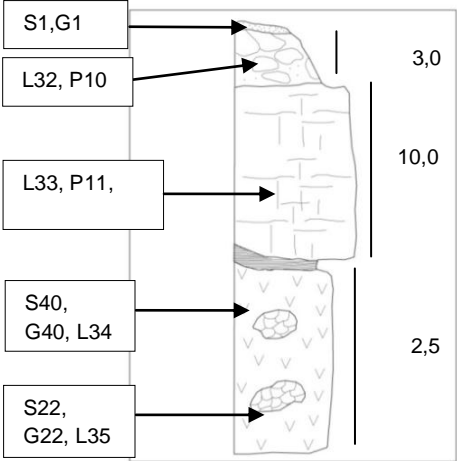

F8 – Local de Observação de Oeste de Cova Figueira		
Coordenadas: 226420, 1649515		
Altitude da base do perfil: 23 m		
Unidades litológicas:		
Solo de cobertura		
Basaltos com disjunção colunar		
Depósito de preenchimento de descontinuidade		
Basaltos vesiculares em rolos		
Brechas hialoclastíticas litificadas		
		
Amostragem	Perfil	Espessura (m)
		<p>0,5</p> <p>3,0</p> <p>0,5</p> <p>3,0</p> <p>4,0</p>
		Foto
Descrição		
<p>Solo de cobertura – com 50 cm de espessura, natureza micro-conglomerática, de cor acastanhada, matriz basáltica, representando 60% do volume da rocha, arenítica, em que os calhaus basálticos se apresentam arredondados a sub-rolados, correspondendo aos restantes 40%, com dimensões entre 5 mm-2 cm. Basaltos com disjunção colunar – com 3 m de espessura, exibem cor acinzentada escura, com manchas de minerais negros com 2-5 mm diâmetro. Textura afanítica. Apresentam alteração W1, e resposta muito compacta à percussão. Apresentam-se em camadas estratificadas (N60°W; 60°SW), variando entre 8-30 cm (L3,4); a abertura das descontinuidades é de 1 mm-1 cm, e o espaçamento E3, representando 3m de espessura. Depósito de preenchimento de descontinuidade – com 50 cm de espessura e de cor avermelhada, matriz pelítica, basáltica, representando 90% do volume da rocha; com siltes e pequenos calhaus com 5 mm de diâmetro, eventualmente correspondendo a uma descontinuidade de deposição. Basaltos vesiculares em rolos – com 3 m de espessura, cor acastanhada escura, aspecto poroso, em que a textura é fanerítica com minerais de olivina alterada e cristais de piroxena com dimensão de 1-4 cm. Pouco compactos e pouco a moderadamente alterados (W2,3). Apresentam-se em rolos diac拉斯ados, L4, com descontinuidades com espaçamento E4 e abertura de 1-1,5 cm, em que as famílias dominantes são N60°W; 64°SW e N10°W; 64°SW. Brechas hialoclastíticas litificadas – com 4 m de espessura, cor acastanhada a esverdeada clara, brechóide, com cimento acastanhado claro, arenítico, representando 50% do volume da rocha. Os auto-clastos são de natureza basáltica de cor castanha e negra, com dimensão média de 3-15 cm e 20 cm. Exibe hialoclastitos em veios com 3-4 mm espessura. São pouco a medianamente compactas e, moderadamente a muito alteradas (W3,4). Exibem estratificação com atitude N34°E; 38°SE. Interceptadas por filão basáltico com 1,8 m de possança, de cor negra ou castanha anegrada, com cristais de olivina de dimensões milimétricas. Apresenta-se muito compacto e são, com direcção N20°E; 42°SE.</p>		

168

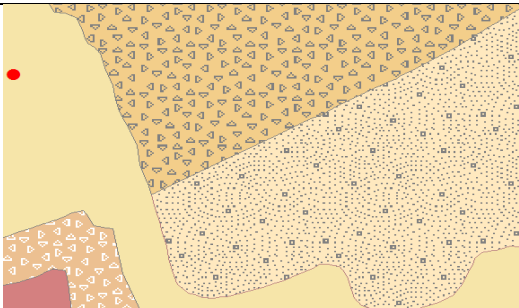

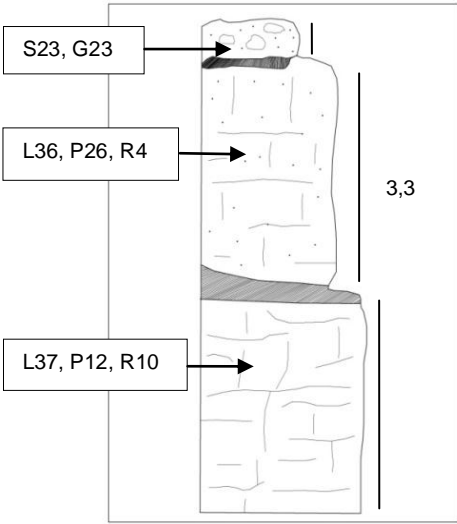

F9B – Local de Observação do Monte Vermelho/Achada Furada	
Coordenadas: 226865, 1650268	
Altitude da base do perfil: 76 m	
Unidades litológicas:	
Depósitos de lapilli litificados	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
 <p>S49, G49, L29, R22</p> <p>S25, G25,</p> <p>2,5</p>	
Descrição	
<p>Depósitos de lapilli litificados: com 2,5 m de espessura, representados por materiais líticos de cores verde, anegrada metálica e alaranjada. Com aspecto granular com níveis sem fracturas ou descontinuidades.</p> <p>Tem natureza conglomerática, com calhaus sub-rolados, angulosos a sub-angulosos, heterométricos, com dimensões até 20-50 cm. Localmente existem bombas com dimensões maiores de 1-2 m diâmetro, geralmente de cor negra.</p> <p>Os lapilli e os fragmentos de escórias são muito porosos e, por vezes encontram-se soldados.</p> <p>À superfície reconhece-se uma zona de alteração que se encontra em estado de solo com cerca de 1m de espessura, de cor castanha alaranjada, de grão fino, pelítico. Estos materiais superficiais desagregam-se à percussão (friáveis a pouco compacto) e têm grau de alteração W3,4.</p>	

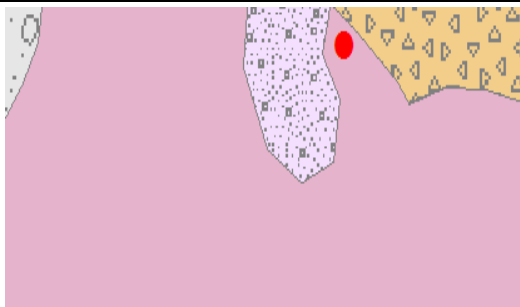
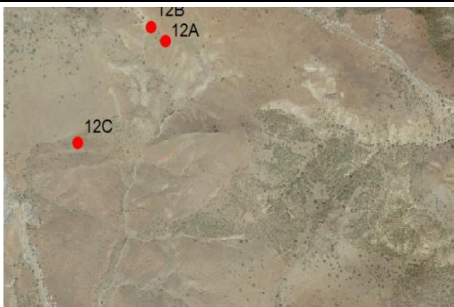
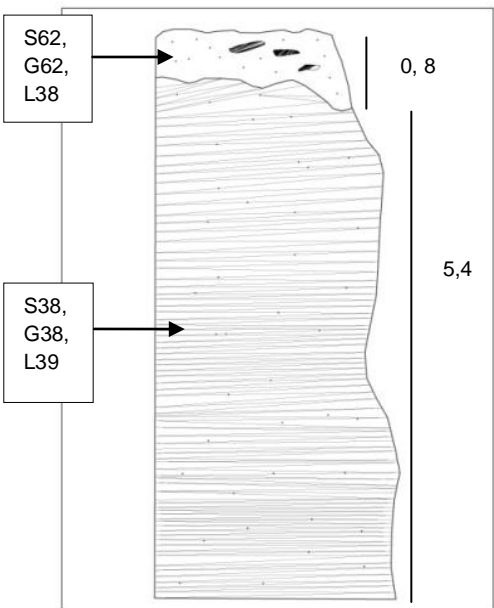

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F9C – Local de Observação do Monte Vermelho	
Coordenadas: 227419, 1650404	
Altitude da base do perfil: 91 m	
Unidade litológica:	
Depósitos escoriáceos grosseiros	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Depósitos escoriáceos grosseiros - 3,2 m materiais de natureza basáltica, estratificados com atitudes N60°-70°W; 50°SW, de cor anegrada com veios esbranquiçados. Os piroclastos são angulosos a sub-angulosos, de grão muito fino a médio (pelítico, arenítico).</p> <p>Observa-se um primeiro nível de alteração, de cor castanha alaranjada, friável (W4) com 30 cm espessura.</p> <p>Os fragmentos são muito porosos e encontram-se soldados entre si, com aspecto granular. Os fragmentos de escoadas estão intercalados nos materiais piroclásticos, delimitando assim possíveis níveis de estratificação. Os diferentes níveis apresentam-se genericamente pouco compacto; e com grau de alteração W1 e W4 nos níveis superiores ou superficiais. Observam-se várias famílias de discontinuidades, com espaçamento na classe E4.</p> <p>Observa-se uma crosta superficial de natureza calcária nos materiais, o que lhes dá uma tonalidade esbranquiçada.</p>	

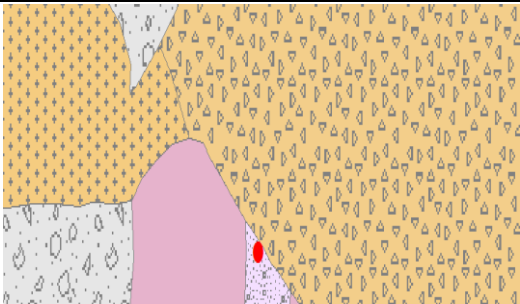
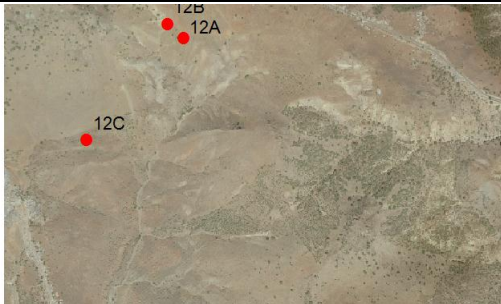
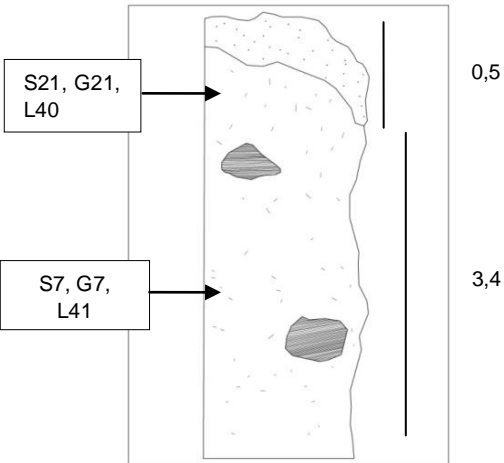

F10 – Local de Observação do Monte Babosa	
Coordenadas: 227620, 1651043	
Altitude base do perfil: 102 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Materiais detríticos grosseiros de vertente	
Basaltos maciços	
Brechas hialoclastíticas	
 	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Solo de cobertura – 50 cm de espessura de arenitos e pelitos de cor acastanhada, com matriz de natureza basáltica, representando 80% do volume total; areias e calhaus de pequenas dimensões, de natureza basáltica, sub-rolados a sub-angulosos, com 1cm diâmetro no máximo, com 20% do volume total. Apresenta-se friável e com grau de alteração W5. Materiais detríticos grosseiros de vertente – 3 m de espessura de materiais basálticos, negros a cinzentos-escuros, heterométricos, atingindo dimensões médias de 2-3 m. Muito compactos, grau de alteração W1, textura afanítica.</p> <p>Basaltos maciços - afloramento com espessura de 10 m, com cor negra a cinzento anegrado. Textura microfanerítica a afanítica, com minerais de olivina, de piroxena; anfíbola, zéolitos (?) e minerais avermelhados de alteração. Apresentam-se muito compactos e com grau de alteração são (W1). Abertura das descontinuidades na ordem de 1 mm a 6 cm e com espaçamento E2; plano de diaclasamento principal com orientação N40°W; sub-vertical. Originam blocos com forma irregular, heterométricos com dimensões médias de 1 m (L2), - os menores com 50cm e os maiores com 2-2,5 m de dimensão. A atitude genérica da organização dos corpos é N80°W; 60°SW.</p> <p>Brechas hialoclastíticas - com 2,5 m de espessura e atitude: E-W; 50°S. Constituídas por materiais soltos, cor esverdeada acastanhada amarelada; matriz arenítica - 70% do volume total; de grão médio a fino. Os rolos pequenos com formas poligonais vão-se desagregando originando um material com granulometria arenítica e com fragmentos de rocha, de natureza basáltica de cor negra ou castanha avermelhada metálica a acinzentada, sub-angulosos a sub-rolados de 3-3,5 cm de dimensão média, representando os restantes 30%. Existem fragmentos que parecem corresponder a fenocristais de piroxena com cerca de 5-7 mm e outros fragmentos apresentam textura microfanerítica com minerais de piroxena e/ou anfíbola e biotite. Ocorrem pequenos veios ou nódulos milimétricos com preenchimento de carbonatos e hialoclastitos. Genericamente apresenta-se friável, e com grau de alteração W4.</p>	

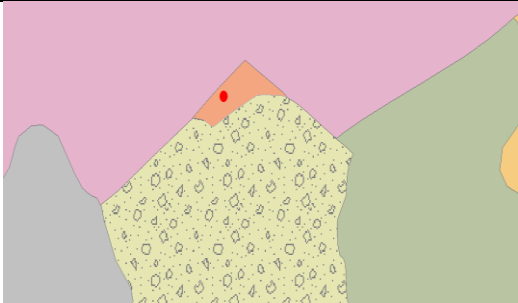
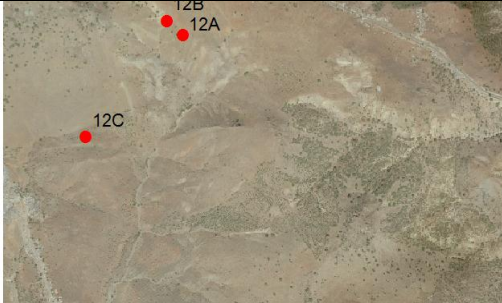
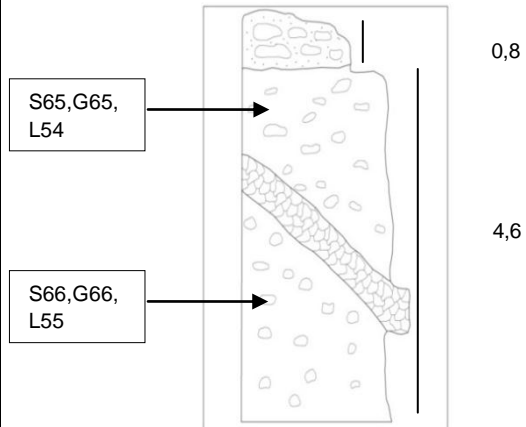

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F11 – Local de Observação da Ponta Preta	
Coordenadas: 225051, 1649907	
Altitude da base do perfil: 43 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Basaltos vesiculares inferiores	
Basaltos com disjunção colunar	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição Solo de cobertura - arenitos de cor castanha a castanha escura, matriz arenítica a pelítica, representando 50% do volume, e calhaus basálticos angulosos, sub-angulosos a sub-angulosos, com 1-4 mm de dimensão e com 50 cm espessura. Basaltos vesiculares inferiores – corpo com 3,3 m de espessura, cor acinzentada, textura vesicular/ vacuolar a amigdalóide, com carbonatos (calcite) em nódulos a preencher os espaços. Exibem várias famílias de descontinuidades com espaçamento E4,5. Apresentam-se medianamente compactos, e pouco alterados (W2). A atitude média é N20°W; 60°SW. Basaltos com disjunção colunar – 3,5 m de materiais de cor negra acinzentada e textura afanítica. Apresenta-se o maciço estratificado, dispondo-se em camadas e originando blocos de forma cúbica. As descontinuidades apresentam 1-3 cm de abertura e espaçamento de classe E3,4,5. Respondem de forma muito compacta à percussão e exibem um grau de alteração W1. A atitude genérica é N20°W; 60°SW. Existe uma descontinuidade com atitude N20°W; 50°NE.	

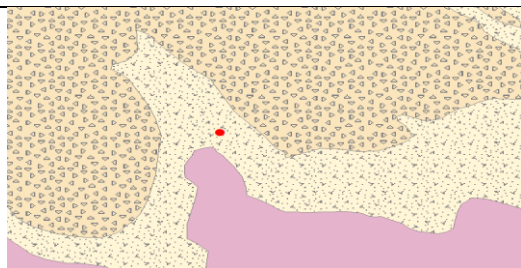

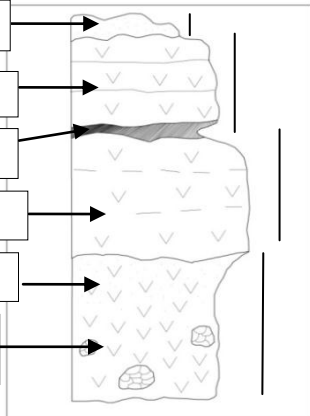

F12A – Local de Observação - NE do Monte Saco	
Coordenadas: 226426, 1653418	
Altitude da base do perfil: 150 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Mantos e filões básicos e ultra-básicos	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Solo de cobertura - materiais com matriz de natureza basáltica pelítica, cor acastanhada e representando 70% do volume total; os calhaus dispersos na matriz são de natureza heterogênea, ou seja fonolítica (cor clara) e basáltica (cor escura); são angulosos a sub-angulosos, têm dimensões nos intervalos granulométricos 5-10, 20-30 e > 40 cm, sendo a dimensão média de 10-15 cm; representando os restantes 30% do volume total. Apresenta-se friável. Espessura de 80 cm.</p> <p>Filões basálticos e ultra-básicos – 5,40 m espessura de materiais de natureza arenítica a pelítica, basáltica, apresentando-se com cor acastanhada-avermelhada, e representando 70% do volume. Os calhaus são fonolíticos e basálticos, de cor castanha amarelada a castanha alaranjada, forma angulosa, sub-angulosa a sub-arredondada, representando 30% do volume. Destaca-se um calhau fonolítico de 120 cm e outro de basalto com 80 cm. Os calhaus fonolíticos e basálticos apresentam dimensões médias de 10-20 cm, embora se encontram alguns calhaus de basalto com 30-40 cm de diâmetro médio. Estes filões apresentam-se friáveis e com grau de alteração W5, exibindo um teor de humidade elevado. A atitude da foliação é N10°E a N-S; 60°S.</p>	

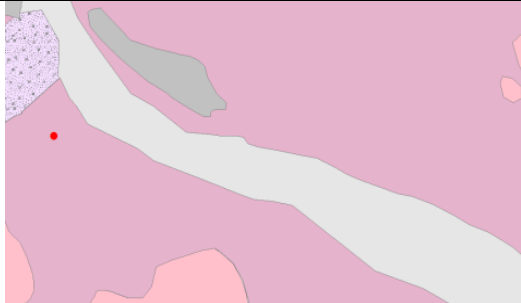

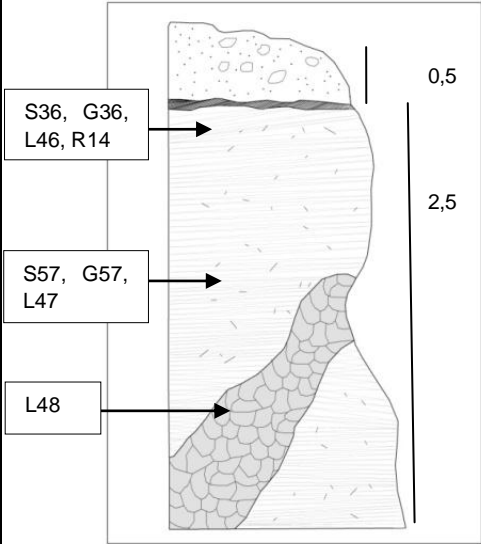

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F12B – Local de Observação do NE do Monte Saco	
Coordenadas: 226422, 1653372	
Altitude da base do perfil: 145 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Fonólitos e traquitos brechificados	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Solo de cobertura – 50 cm de materiais com matriz de natureza pelítica, fonolítica, cor acastanhada clara a amarelada, representando 70% do volume total; os calhaus dispersos na matriz são de natureza heterogênea, ou seja na maioria fonolítica-traquítica (cor clara) e alguns de natureza basáltica (cor escura); são angulosos a sub-angulosos, têm dimensões na ordem 5-10 ou 20-30 cm; a dimensão média dos calhaus é de 10-15 cm; representando os restantes 30% do volume total. Apresenta-se friável e sob a forma de solo (W5).</p> <p>Fonólitos e traquitos brechificados – 3,4 m de materiais que apresentam matriz de natureza arenítica a microconglomerática, com tons claros que variam desde o amarelo ao esbranquiçado. A fração da matriz corresponde a 60% do volume, complementada por calhaus de natureza fonolítica-traquítica, de cor esverdeada a amarelada e esbranquiçada, e misturados caoticamente com calhaus de basalto negros ou acinzentados e apresentando minerais de piroxena e anfíbola. Os calhaus apresentam-se bem arredondados e sub-angulosos, com superfícies polidas, sendo que os calhaus basálticos e fonolíticos exibem dimensões na ordem dos 20-25 cm, embora possam atingir os 60-1,20 cm de diâmetro. Globalmente os corpos são friáveis e o grau de alteração W4. A atitude dos planos da foliação é N50°W;30°SW.</p>	

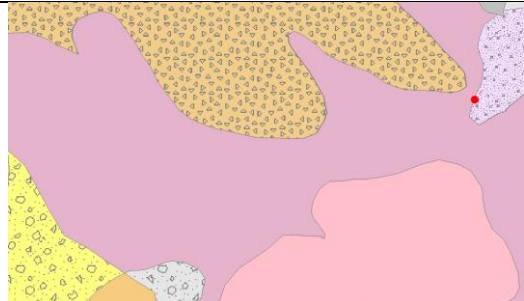

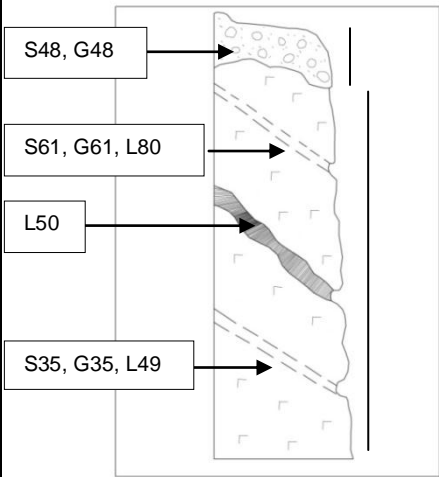

F12C – Local de Observação do N de Monte Saco	
Coordenadas: 226786, 1652407	
Altitude da base do perfil: 129 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Depósitos conglomeráticos estratificados	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Solo de cobertura – 80 cm de materiais com matriz arenítica a micro-arenítica de natureza basáltica e/ou fonolítica, de tonalidade acastanhada clara que representa 60%-70% do volume total. Os calhaus são da mesma natureza e de cor castanha a esverdeada a cinzentos anegrados, representando 30%-40% do volume, e são arredondados a sub-angulosos, com dimensões entre os 2-10 cm.</p> <p>Depósitos conglomeráticos estratificados – com uma espessura de 4,6 m, apresentam-se com matriz de natureza arenítica fina a siltosa, basáltica e/ou fonolítica, de tonalidade acastanhada clara representando cerca de 50% do volume; por sua vez os calhaus de natureza fonolítica-basáltica, de cor acastanhada a esverdeada e escassos de cor avermelhada, encontram-se associados de forma aleatória com calhaus basálticos negros ou acinzentados. Ambos os tipos de clastos se apresentam arredondados a sub-angulosos e de superfícies polidas, podendo evidenciar minerais de piroxena, anfíbola e olivina. Os calhaus basálticos e fonolíticos apresentam dimensões na ordem dos 5-20 cm, embora existem alguns que atingem os 60 cm de diâmetro. Globalmente os corpos são friáveis e com grau de alteração W3,4. A atitude genérica da foliação é E-W; 70°S.</p>	

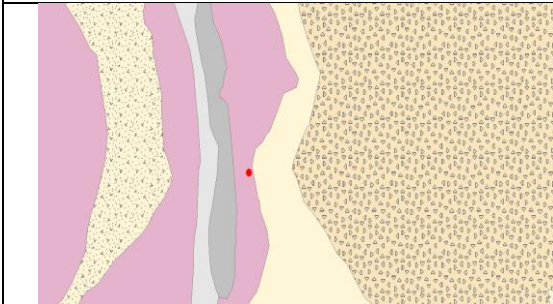

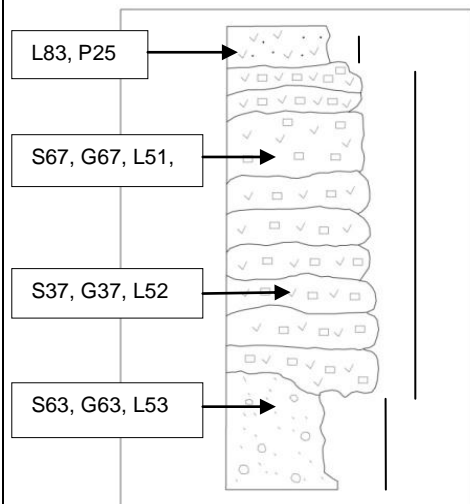

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F13 – Local de Observação da Trindade			
Coordenadas: 225472,1654890			
Altitude da base do perfil: 180 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Basaltos vesiculares superiores			
Depósito de preenchimento de descontinuidade			
Basaltos olivínicos			
Mantos e filões básicos e ultra-básicos			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
S34, G34		0,3	
L42, R19		1,5	
S46, G46			
L43, P13		1,7	
S52, G52,			
S2, G2, L45		2,0	
Descrição			
<p>Solo de cobertura – 30 cm de arenitos e micro-conglomerados, basálticos, de matriz de cor castanha avermelhada, representando 70% dos volume; os calhaus dispersos na matriz são de natureza basáltica; angulosos a sub-arredondados, com dimensão média dos calhaus entre 4-6 cm; representando os restantes 30% do volume. Apresenta-se friável e sob a forma de solo (W5).</p> <p>Basaltos vesiculares superiores – materiais com 1,5 m de espessura, com natureza basáltica, cor cinzenta escura, textura vesicular, com algumas olivinas alteradas de 1-2 cm. Medianamente compactos, com grau de alteração W2, apresentando uma disjunção em bolas ou camadas com espessura L2,3, em que a abertura das descontinuidades apresenta 0,5-0,3 cm e espaçamento médio na classe E3,4. Observa-se estratificação com atitude N-S; 45°W.</p> <p>Depósito de preenchimento de descontinuidade - com 0,5 m de espessura, materializando uma descontinuidade, é formado por dois níveis arenosos ferruginosos: um de cor avermelhada com 20 cm e outro de cor alaranjada com 30 cm. Ambos os níveis apresentam calhaus negros arredondados a sub-angulosos de 5-15 cm de dimensão.</p> <p>Basaltos olivínicos – 1,7 m de materiais de natureza basáltica, cor cinzenta escura, a castanha escura, textura microfanerítica a afanítica porosa com a presença de cristais de olivina, de pequena dimensão (1-2 mm). Observa-se uma disjunção em camadas até à disjunção em bolas, com espessura do tipo L4. Apresenta fracturação radial com abertura de 1-2 mm (E5), repondo de forma pouco compacta a medianamente compacta, e com grau de alteração W2,3. A atitude da estratificação é N-S; 45°W.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – com 2 m de espessura, natureza basáltica, arenítica na base e micro-arenítica no topo, com cor avermelhada a laranja avermelhada e estratificação N-S; 45°W. A matriz basáltica representa 90% do volume e os calhaus de natureza essencialmente basáltica, 10%, exibindo pequenas dimensões, não ultrapassando os 4-5 cm de diâmetro médio. Apresentam-se friáveis à superfície e com grau de alteração W5. Observam-se ainda rolos de natureza basáltica, de cor negra acinzentada com dimensões de 30-40 cm de espessura, L3,4, por vezes bastante fracturados, E4,5, com alteração W3,4 e pouco compactos à percussão.</p>			

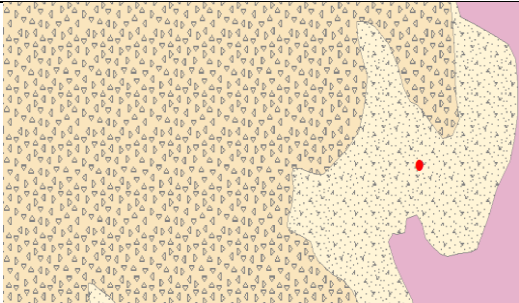

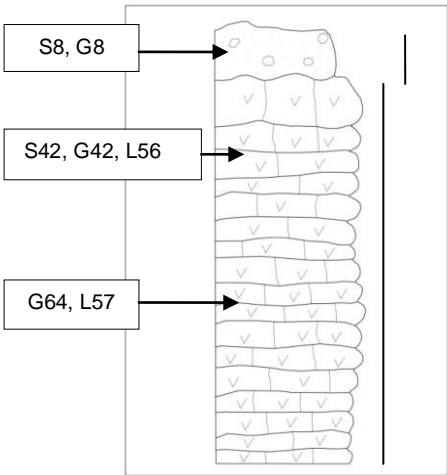

F14A – Local de Observação de Pensamento	
Coordenadas: 228052, 1653000	
Altitude base do perfil: 87 m	
Unidades litológicas:	
Solo de cobertura	
Mantos e filões básicos e ultra-básicos	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Solo de cobertura – conglomerados, com matriz de natureza microconglomerática, basáltica, cor acastanhada clara a avermelhada-amarelada, representando 60% do volume. Os calhaus dispersos na matriz são de natureza basáltica, angulosos a sub-angulosos, e têm dimensões entre 2-12 cm, sendo a dimensão média de 3-5 cm e representando os restantes 40% do volume. Apresenta-se friável e sob a forma de solo e grau de alteração W5. Espessura aproximada de 50 cm.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – materiais com 2,5 m de espessura, com matriz de natureza pelítica, basáltica e fonolítica, cor clara, amarela-alaranjada a esbranquiçada. Friáveis e muito alterados W4,5; com descontinuidades de várias direcções, com 1-1,5 cm espaçamento (E5). A Atitude da foliação é N80°W; 78°S.</p> <p>Interceptados por outros filões basálticos, com possança de 50-60 cm e direcção N40°W a E-W; 58°SW. Muito alterados, verticais a subverticais, desagregam-se com muita facilidade à percussão, e respondendo de forma pouco compacta.</p>	

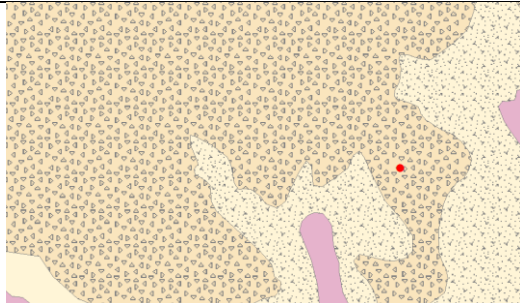

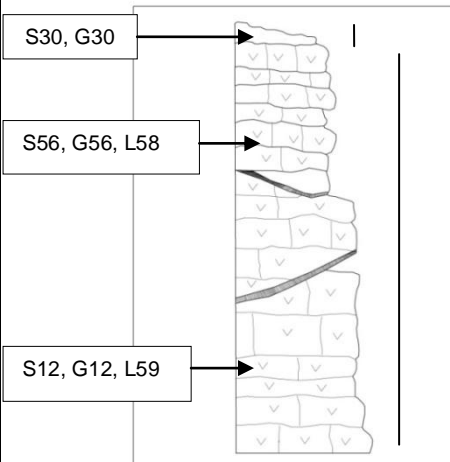

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F14B – Local de Observação de Pensamento			
Coordenadas: 227877, 1653091			
Altitude da base do perfil: 93 m			
Unidades litológicas:			
Conglomerados inferiores			
Fonólitos e Traquitos brechificados			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
S48, G48		1,5	
S61, G61, L80		3,5	
L50			
S35, G35, L49			
Descrição			
<p>Conglomerados inferiores – 1,5 m de espessura de materiais com matriz de natureza conglomerática-brechóide, basáltica, cor castanha escura, representando 50% do volume. Os calhaus dispersos na matriz apresentam intervalos de dimensões entre 5-10 cm, 25-30 cm e 50-70 cm, sendo que a dimensão média é de 10-25 cm. Apresentam-se friáveis e com grau de alteração W4,5.</p> <p>Fonólitos e Traquitos brechificados – 3,5 m de espessura, de natureza arenítica a pelítica, fonolítica e traquítica, com cores esverdeada-esbranquiçada a cinzenta-esbranquiçada. Observam-se veios esbranquiçados com estrutura ondulada. Apresentam-se bastante friáveis, desagregando-se com muita facilidade (W5). Exibem foliação com atitude N40°E; 68°SE.</p> <p>Filão com 70 cm de possança, de natureza basáltica, cor castanha escura, que corta a unidade inferior, com direcção de N55°E; 70°SW, apresentando-se friável à superfície e com grau de alteração W4.</p>			

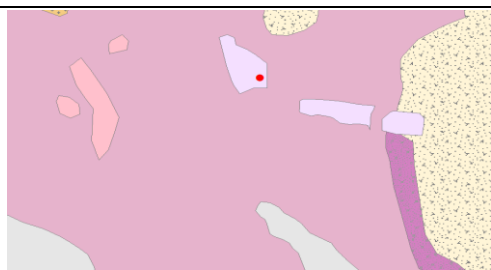

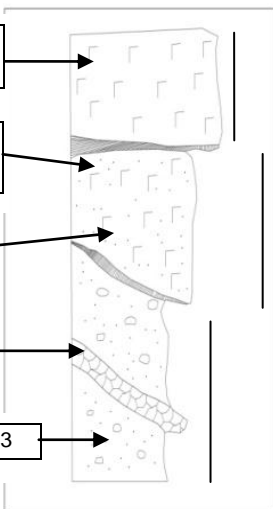

F15 – Local de Observação de Laranjo			
Coordenadas: 228210, 1654720			
Altitude da base do perfil: 76 m			
Unidades litológicas:			
Basaltos vesiculares superiores			
Basaltos amigdalóides			
Mantos e filões básicos e ultra-básicos			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
L83, P25		3,0	
S67, G67, L51,		15,0	
S37, G37, L52			
S63, G63, L53		6,0	
Descrição			
<p>Basaltos vesiculares superiores – 3 m de materiais de natureza basáltica, cor negra acinzentada, cinzenta escura ou castanha escura a passar para cinzenta acastanhada. A textura é afanítica a micro-fanerítica com olivinas alteradas com 1-2 cm de diâmetro; pode apresentar ou não carbonatos (calcite) a preencher as cavidades, em nódulos ou com aspecto amigdalóide. Apresentam-se porosos, micro-vesiculares ou vesiculares/vacuolares que podem atingir dimensões médias de 2-3 cm. Exibem disjunção esferoidal, em blocos irregulares ou em camadas, com espessuras centimétricas com valores médios de 10-40 cm (L2,3,4). A abertura das descontinuidades é reduzida, situando-se entre os valores de 0,3 cm; o espaçamento médio varia entre 15-35 cm (E3,4). Apresentam-se medianamente compactos a pouco compactos, sendo o estado de alteração pouco a moderadamente alterado (W2,3).</p> <p>Basaltos amigdalóides – 15 m de materiais com tons cinzentos-claros a cinzento-escuros ou cinzentos-esverdeados. Apresentam vesículas e cavidades de dimensão amigdalóide (3,5-4 cm) preenchidas por carbonatos e/ou zéolitos. Exibem estratificação em camadas (N40°W; 30°SW) com 25-30 cm espessura (L4), com várias descontinuidades ortogonais com espaçamento E3,4. As descontinuidades estão preenchidas por carbonatos e/ou zéolitos. O topo do afloramento apresenta mais poros com maior impregnação de carbonatos.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – 6 m de materiais com matriz de natureza arenítica a arenítica grosseira, basáltica e fonolítica, de cor clara a média, castanha-alaranjada a laranja-amarelada, representando 70% do volume. Os calhaus soltos são de natureza basáltica com dimensões na ordem dos 20-30 cm e fonolítica (infima) com 2-5 cm. Apresentam-se friáveis, com muito elevado estado de alteração (W5). A atitude da estratificação é N20°W; 30°SW.</p>			



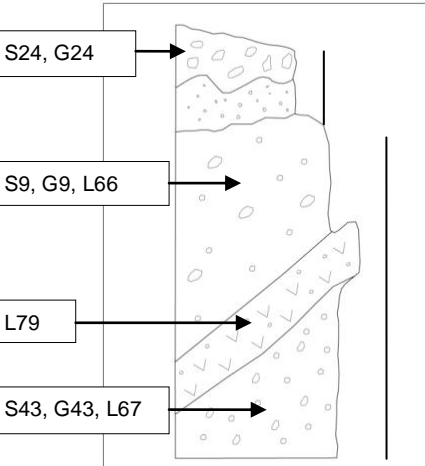

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F16 – Local de Observação da Achada de São Felipe Leste			
Coordenadas: 229823, 1654623			
Altitude da base do perfil: 110 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Basaltos olivínicos			
			
Amostragem	Perfil (m)	Espessura	Foto
		<p>0, 3</p> <p>1, 8</p>	
Descrição			
<p>Solo de cobertura - Conglomerados com matriz de natureza basáltica, cor castanha escura, representando 40% do volume. Os calhaus dispersos na matriz são de natureza basáltica; são sub-angulosos a sub-arredondados, tendo dimensões na ordem dos 5-20 cm. Este corpo apresenta-se friável e exibe uma espessura máxima de 30 cm.</p> <p>Basaltos olivínicos – Unidade com 1,80 m de espessura, de natureza basáltica, acinzentadas a cinzentas anegradadas, com textura afanítica e com minerais de olivina alterados, com dimensões médias ≤ 5 mm. A disjunção é em lajes a esferoidal, com bolas estratificadas ou “em pinha”. Os basaltos encontram-se bastante fracturados em lajes e bolas com 20-30 cm de diâmetro (L3) e espaçamento médio E4. Apresentam-se pouco compactos e com elevado grau de alteração (W4). A atitude da estratificação é N-S; 20°W.</p>			



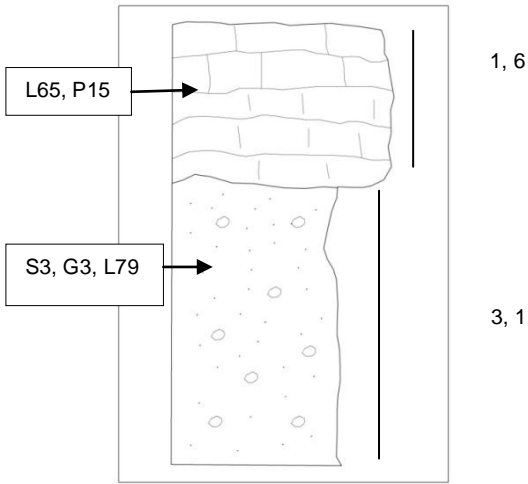

F17 – Local de Observação de Achada de São Felipe Oeste			
Coordenadas: 229536, 1654376			
Altitude da base do perfil: 128 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Basaltos vesiculares superiores			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
		0, 3 3, 3	
Descrição			
<p>Solo de cobertura – Micro-conglomerados e arenitos com matriz de natureza basáltica, cor alaranjada a castanho alaranjada, representando 20% do volume; os calhaus dispersos na matriz são de natureza basáltica e de cor cinzenta, sub-angulosos a sub-arredondados, com dimensões entre 10-30 cm, sendo a dimensão média de 15-20 cm, representando 80% do volume total. Apresenta uma espessura máxima de 30 cm.</p> <p>Basaltos vesiculares superiores – No topo apresentam natureza basáltica, de cor cinzenta a cinzenta acastanhada, textura porosa a vesicular, e disjunção esferoidal em que as bolas apresentam dimensões maiores de 80 cm, médias de 30-40 cm, e em que a espessura pode ser classificada de L2,3,4, e o espaçamento do diaclasamento do tipo E3,4. Apresentam-se pouco compactos, com grau de alteração W2,3. Exibem uma atitude genérica N10°E;10°SE e uma espessura de 1,6 m.</p> <p>Na base apresentam natureza basáltica e de cor cinzenta a cinzenta acastanhada, textura porosa a vesicular, disjunção esferoidal, em bolas a blocos irregulares, com dimensões média nos intervalos 40-60 cm, e menores com 15 cm. Exibem maior alteração e porosidade relativamente ao topo sendo pouco compactos e com grau de alteração W3. A atitude é N20°E;10°SE, com 1,7 m de espessura.</p>			



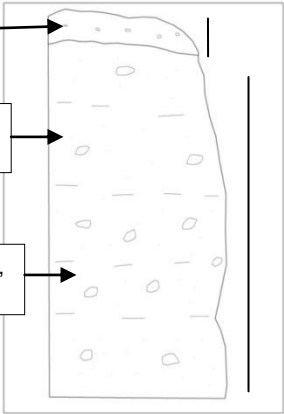

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F18 – Local de Observação de Safende			
Coordenadas: 229528, 1653156			
Altitude da base do perfil: 50 m			
Unidades litológicas:			
Fonólitos e Traquitos			
Microconglomerados e arenitos			
Fonólitos e traquitos maciços			
Arenitos			
Mantos e filões básicos e ultra-básicos			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
S51, G51, L60, P14,		3,0	
S29, G29, L61		2,8	
S26, G26, L62			
L64		3,0	
S28, G28, L63			
Descrição			
<p>Fonólitos e traquitos maciços (1º nível) – 3 m de materiais com cor esverdeada, textura fanerítica a microfanerítica com minerais de feldspatóides (nefelina) com dimensões ≤ 5 mm. Apresentam estratificação N20°W; 60°SW, em blocos com espessura de 1,5 m (L2) e com descontinuidades ortogonais com espaçamento E4,5. Apresentam-se muito compactos e são (W1).</p> <p>Microconglomerados e arenitos – trata-se de solo friável com 80 cm de espessura e materializando uma discordância constituída por depósitos intercalares entre os fonólitos da base e do topo, Apresenta uma matriz de natureza arenítica, fonolítica, cor castanha alaranjada, com representação de 90% do volume, calhaus basálticos dispersos na matriz, sub-angulosos a sub-arredondados, com dimensões entre 1-5 cm.</p> <p>Fonólitos e traquitos maciços (2º nível) – 2,8 m de espessura, com cor esverdeada clara, textura afanítica, a fanerítica com cristais de piroxenas e fenocristais de feldspatóides (nefelina? e leucite?). Exibe estratificação N15°E; 30°SE, com blocos de espessura L4, e descontinuidades com espaçamento E3,4, com abertura de 1-2 mm. Pouco compactos e com grau de alteração W3.</p> <p>Arenitos – solo com 80 cm de espessura máxima e materializando uma descontinuidade entre os Fonólitos e traquitos maciços e os Mantos e filões básicos e ultra-básicos. Apresenta uma matriz fina, de natureza basáltica-fonolítica, de cor amarelada-alaranjada.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – 3,0 m de materiais basálticos com matriz pelítica, de cor castanha alaranjada a laranja com descontinuidades. Apresentam-se friáveis e com elevado grau de alteração W4. Estratificação N40W, sub-horizontal. Aparecem representados filões a interceptar a sequência, formados por filões de natureza basáltica, com possança de 80 cm, cor castanha escura, textura afanítica, pouco compactos com grau de alteração W3,4. A atitude é N70°W; 70°SW.</p>			

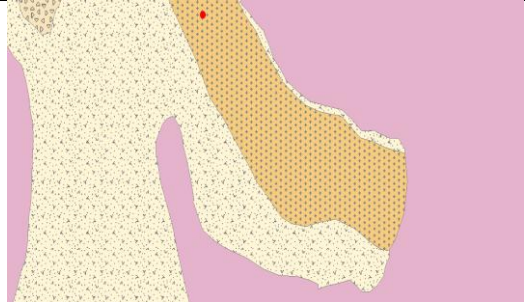

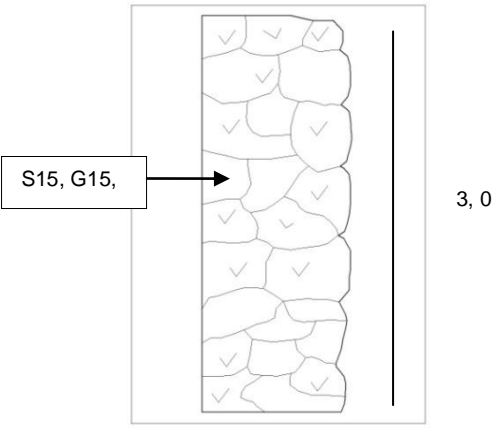

F19 – Local de Observação de Bela Vista			
Coordenadas: 228363, 1651612			
Altitude da base do perfil: 81 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Mantos e filões básicos e ultra-básicos			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
S24, G24		0,8	
S9, G9, L66		3,0	
L79			
S43, G43, L67			
Descrição			
<p>Solo – formado por conglomerados-brechóides; existe um primeiro nível de natureza basáltica, corpo brechóide friável, matriz de natureza pelítica, de cor castanha escura, com 50% de representação do volume; apresenta calhaus angulosos a sub-angulosos, com 2-30 cm de diâmetro de natureza basáltica e fonolítica, com 80 cm espessura. Existe um segundo nível de natureza basáltica, com matriz de grão fino a muito fino, pelítica, de cor avermelhada a vermelha acastanhada a castanha, representando 90% do volume, com calhaus menores que 2-3 cm.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – 3 m de materiais com cor castanha, matriz pelítica de cor castanha alaranjada, representando 80% do volume total. Apresenta calhaus negros e afaníticos, angulosos a sub-angulosos dispersos, com 2-2,5 cm de diâmetro médio. Apresentam-se pouco compactos a friáveis, com grau de alteração W5. A atitude é N-S; sub-horizontal.</p> <p>Interceptando os filões básicos e ultra-básicos aparece um filão com 70cm de possança, de natureza basáltica, muito alterado, com grau de alteração W4 e atitude, N-S; 60° SSE.</p>			

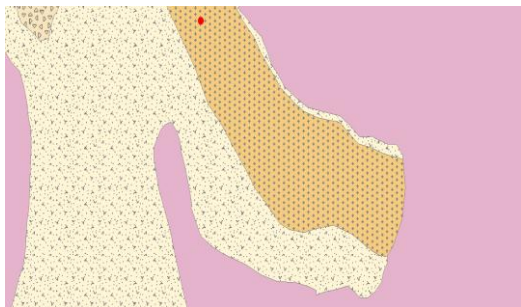

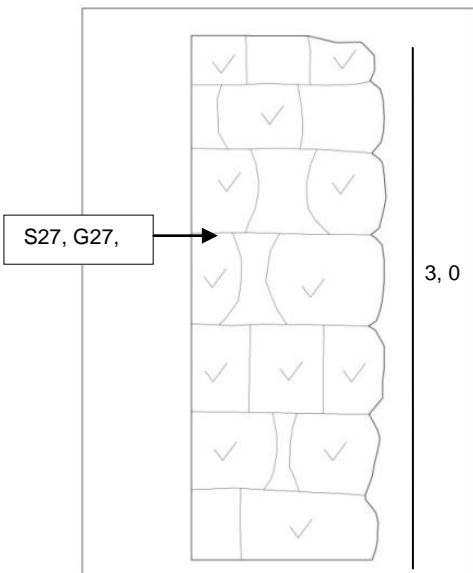

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F20 – Local de Observação do Plateau “Quartel Escola – Policia”	
Coordenadas: 229368, 1651174	
Altitude da base do perfil: 50 m	
Unidades litológicas:	
Basaltos com disjunção colunar	
Mantos e filões básicos e ultra-básicos	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Basaltos com disjunção colunar - 1,6 m de materiais com cor acinzentada escura, com textura afanítica, estrutura compacta e são (W1). Estrutura em camadas com blocos diaclasados. A espessura das camadas varia entre 60 cm-1 m (L2), exibindo descontinuidades com abertura entre 0,5-1,5 cm e apresentando um espaçamento E3. A atitude da estratificação é N40°E a E-W; 60°SE.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – 3,1 m de materiais de natureza arenítica, basáltica, apresentando cor acastanhada, representando 60% do volume. Os clastos são basálticos, de cor castanha, forma angular, sub-angulosos a sub-arredondados. Os clastos apresentam dimensão média entre 8-15 cm. Apresentam-se friáveis e com grau de alteração W4,5. A atitude da estratificação é N20°W; sub-vertical.</p>	

F21 – Local de Observação do Monte Pensamento			
Coordenadas: 228858, 1652099			
Altitude da base do perfil: 85 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Mantos e filões básicos e ultra-básicos			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
<div>S17, G17</div> <div>S14, G14, L68</div> <div>S45, G45, L69</div>		<div>0,3</div> <div>3,7</div>	
Descrição			
<p>Solo de Cobertura – Micro-arenitos-pelitos friáveis, com matriz de natureza microarenítica a pelítica, basáltica, com cor alaranjada a castanho alaranjada, representando 20% do volume; os calhaus dispersos na matriz são de natureza basáltica e de cor acastanhada, sub-angulosos a sub-arredondados, com dimensões entre 5-25 cm, sendo a dimensão média de 10-18 cm. Apresenta 30 cm de espessura máxima.</p> <p>Mantos e filões básicos e ultra-básicos – 3,7 m de materiais com matriz pelítica, cor acastanhada alaranjada a avermelhada alaranjada, com natureza basáltica. Exibe um elevado grau de alteração (argilização com evidência de cisalhamento) da classe W4,5, apresentando-se friável a pouco compacto, muito aterado, da classe W4. A atitude da estratificação é N20°E; 60°SW.</p> <p>Interceptados por filões basálticos, afaníticos, com possança média de 1-1,5 m, com direcções preferenciais de N20°W; 70°SW e N40°W; 85°SW; N10°E; 60°NW e N-S; 60°W. Apresentam-se compactos e com grau grau de alteração (W2), encontrando-se bastante diaclasados em várias direcções.</p>			

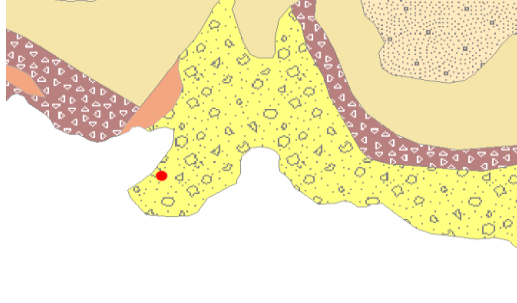

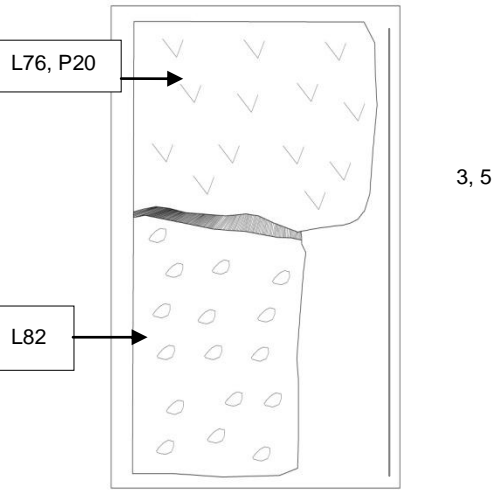

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F22A – Local de Observação de Chão de Lemão			
Coordenadas: 226828, 1655071			
Altitude da base do perfil: 203 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
			
Descrição			
<p>Solo de cobertura – 50 cm de materiais de alteração, com cor castanha, exibindo uma matriz pelítica a microarenítica, representando 70% do volume, com pequenos calhaus de natureza basáltica angulosos a sub-angulosos, dispersos na matriz.</p> <p>Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli– 3 m de materiais com natureza basáltica, negra, com fenocristais de olivinas alteradas ou frescas e anfíbolos e piroxenas com diâmetro ≤ 5 cm. Exibem uma estrutura em blocos heterométricos (em tartaruga - <i>tortoise shell</i>) com dimensão média de 20-60 cm (L3), muito diaclasado, em que as discontinuidades ortogonais apresentam um espaçamento E2,3. Apresentam-se muito compactos e são (W1).</p>			



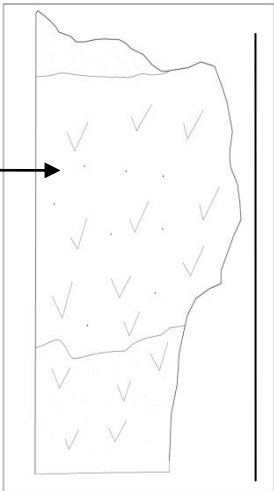

F22B – Local de Observação de Chão de Lemão			
Coordenadas: 226744, 1655257			
Altitude da base do perfil: 174 m			
Unidades litológicas:			
Solo de cobertura			
Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
			
Descrição			
<p>Solo de cobertura – 50 cm de materiais de alteração com micro-arenitos pelitos, de cor castanha, com pequenos calhaus de natureza basáltica angulosos a sub-angulosos, dispersos na matriz e representando 30% do volume.</p> <p>Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli – 3 m de basaltos cinzentos a cinzentos anegrados, compactos, com fencocristais de olivinas alteradas ou frescas e anfíbolos e piroxenas com diâmetro ≤ 5 cm.</p> <p>A estrutura exhibe blocos de forma irregular, com dimensões entre 50 cm-1 m (L2,3), em que as descontinuidades se dispõem segundo um padrão radial, com espaçamento E5. Apresentam-se muito compactos e são (W1).</p>			

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F23 – Local de Observação de Simão Ribeiro			
Coordenadas: 228522, 1652560			
Altitude da base do perfil: 57 m			
Unidades litológicas:			
Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos			
Gabros olivínicos e sienitos feldpatoídicos			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
		2,0 3,0 20,0 6,0	
Descrição			
<p>Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos – os Vulcanoclastitos basálticos são materiais de cor cinzenta acastanhada clara a tons mais claros, encontram-se bastante alterados. Observam-se minerais de magnetite e veios de carbonatos e/ou zeólitos, textura micro-fanerítica a afanítica; incluem elementos fonolíticos ou traquíticos e de outras rochas granulares (carbonatíticas) e apresentam textura afanítica. A textura dos filões de natureza basáltica que cortam esta unidade é afanítica. Observam-se filonetes e filões carbonatíticos, de considerável compacidade a cortar esta unidade com direcções N-S; 50°SE; N82°W; 80°NNE, N26°-48°W; 50°WSW intercalados com filões basálticos. A possança dos filões pode atingir valores médios de possança entre 20-25 cm a 60-70 cm, com valor máximo de 2 m. Os filões basálticos apresentam-se à percussão pouco compactos a friáveis, com grau de alteração variando entre pouco alterado a moderadamente alterado (W2,3), o que associado à elevada fracturação origina uma blocometria cúbica com 3 cm de diâmetro médio (proximidades do Monte Gato Valente). Os filões carbonatíticos exibem semelhante grau de alteração W2,3, mas uma resposta medianamente compacta a muito compacta à percussão ao martelo e possança de 3 m.</p> <p>Gabros olivínicos e sienitos feldpatoídicos – estão representados por pequenas massas no que respeita às rochas gabróicas e por filões ou filonetes no caso dos sienitos com 6 m de espessura, de cor esverdeada a verde acastanhada, com granularidade média, texturas fanerítica e porfírica, com minerais de piroxenas, biotite, olivinas e feldspatóides (0,5 a 30 mm); há um predomínio de minerais de olivinas nas massas gabróicas e de feldspatóides, nos sienitos. A estrutura dos gabros olivínicos é bandada, apresentando estratificação genericamente E-W; 20°SW a N-S; 60°SW exibindo ainda descontinuidades ortogonais ao plano de estratificação principal. Observam-se ainda filões de natureza essencialmente basáltica a cortar os sienitos e gabros, com possança na ordem dos 30-50 cm. Os filões apresentam-se sub-verticais ou orientam-se na direcção N-S; 60°W, N70°W; 40°SW; N80°E; 20°SE. Os sienitos feldpatoídicos e os gabros olivínicos, bem como os filões de natureza basáltica e fonolítica, apresentam-se sãos, com um grau de alteração W1, muito compactos à percussão; no caso dos sienitos feldpatoídicos e dos gabros olivínicos são medianamente compactos a muito compactos.</p>			

F24 – Local de Observação de Cova Figueira	
Coordenadas: 226697, 1649229	
Altitude da base do perfil: 15 m	
Unidade litológicas:	
Brechas hialoclastíticas litificadas	
	
Amostragem Perfil Espessura (m)	Foto
	
Descrição	
<p>Brechas hialoclastíticas litificadas – 3,5 m de materiais de cor negra a negra acinzentada, textura afanítica a microfanerítica (com cristais de olivina), com hialoclastitos e calcite disseminada em pequenos veios ou a preencher discontinuidades com 2-3 mm. Apresentam uma estrutura em rolos de forma poligonal a irregular com brechas basálticas intercaladas. As brechas apresentam cor castanha clara a castanha ou escura, com matriz micro-conglomerática, e com 40%-50% de auto-clastos de natureza basáltica, de cor acastanhada a anegrada, apresentando dimensões de 1-15 cm em média e 15-18 cm no máximo. Os clastos apresentam textura afanítica ou microfanerítica, com alguns minerais de biotite, olivina, piroxena e carbonatos, de dimensões médias de 1-2 mm.</p> <p>A estrutura evidencia blocos com dimensões, L4,5, com discontinuidades com abertura de 1-5 mm e espaçamento máximo de 10 cm (E5). Apresenta-se muito compacto à percussão e estado são/fresco.</p>	

Caracterização e relações geométricas das unidades litológicas

F25 – Local de Observação do Sul do Monte Ilhéu			
Coordenadas: 225577, 1652565			
Altitude da base do perfil: 125 m			
Unidade litológica:			
Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular			
			
Amostragem	Perfil	Espessura (m)	Foto
		3,0	
Descrição			
<p>Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular – materiais com natureza basáltica de cor negra, exibindo minerais de piroxena e anfíbola; apresentam estrutura colunar em secções hexagonais ou pentagonais, um tanto ou quanto irregulares, com blocos de 5-15 cm de espessura (L4,5) não se observando brechas ou hialoclastitos. Apresentam-se muito compactas à percussão, bastante diaclasadas em várias direcções, com abertura de 1 mm a 2-3 mm e com espaçamento de 6-20 cm (E4,3). Observam-se planos de foliação N40°E;40°SW e N40°E; 40°SE. A espessura é de 3 m.</p>			

Feita a caracterização genérica das diferentes unidades litológicas consideradas, e apresentadas as características *in situ* dos materiais bem como da amostragem efectuada, iremos passar à caracterização dos aspectos geotécnicos dos materiais. Decorre da descrição efectuada os contrastes observados *in situ* entre os materiais de natureza efusiva (vulcanitos) e os materiais de origem explosiva nomeadamente os depósitos autoclásticos.

Em termos de síntese verifica-se igualmente uma diferença de representação espacial com maior saliência para as unidades dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Brechas hialoclastíticas e Basaltos vesiculares intermédios bem como as diferentes espessuras das unidades que variam desde os valores de 2-40 m, 25-40 m, 15-30 m e 15-20 m das unidades Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Brechas hialoclastíticas, Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular, Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos (respectivamente) e, os valores mínimos de acordo com a metodologia de representação (≥ 3 mm) das unidades Basaltos vesiculares inferiores, Basaltos com disjunção esferoidal e Basaltos vesiculares intermédios.

Ressalta, ainda na avaliação das características *in situ*, valores de maior alteração superficial das unidades dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Fonólitos e traquitos brechificados e Brechas hialoclastíticas, por oposição ao carácter são que são exibidos pelas unidades Fonólitos e traquitos maciços, Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos, Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular, Basaltos maciços em rolos, Basaltos maciços, Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli, Basaltos com disjunção colunar e Materiais detríticos grosseiros de vertente.

Na resposta à percussão há contrastes muito notáveis entre níveis, salientando os valores muito compactos das unidades Fonólitos e traquitos maciços, Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos, Basaltos maciços em rolos, Basaltos maciços, Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli, Basaltos com disjunção colunar e Materiais detríticos grosseiros de vertente, por oposição dos valores friáveis a pouco compactos das unidades dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Fonólitos e traquitos brechificados e Brechas hialoclastíticas.

5

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

Os resultados obtidos pelos estudos laboratoriais e *in situ* são apresentados e analisados neste capítulo, e comparados, sempre que possível, com os compilados na bibliografia para o mesmo tipo de materiais rochosos. Procura-se assim, contribuir para o conhecimento das propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais estudados, assim como avaliar as propriedades determinantes para a sua caracterização.

Os ensaios geotécnicos incluem a análise granulométrica, teor de humidade, limites de Atterberg, expansibilidade, as Classificações Unificada da ASTM (D2487-85) e Textural e as Classificações de Casagrande de Plasticidade e de AASTHO. Os ensaios da mecânica das rochas foram realizados para determinação da resistência das rochas através do índice de *Schmidt* (esclerómetro) e do *Point Load Test* ou PLT (ensaio de carga pontual) e das classificações quanto à resistência das rochas à percussão ao martelo de geólogo.

Por sua vez os ensaios geoquímicos incluem a caracterização do pH do solo, azul-de-metileno, determinação da fracção argilosa por difractometria de raios-X, análise da sensibilidade ou comportamento em presença da água, coeficiente de argilosidade e actividade coloidal.

Apresenta-se igualmente, os dados dos estudos de radioactividade natural que envolvem dados radiométricos em rochas e da concentração do gás radão no ar interior de habitações.

5.1 Resultados dos ensaios geotécnicos das unidades litológicas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios *in situ* e de laboratório para os materiais amostrados e identificados em diferentes unidades litológicas, nomeadamente: Mantos e filões básicos e ultra-básicos; Fonólitos e traquitos maciços; Fonólitos e traquitos brechificados; Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos; Gabros olivínicos e Sienitos feldspatoídicos; Conglomerados inferiores; Brechas hialoclastíticas e Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos; Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular; Brechas hialoclastíticas litificadas e Depósitos conglomeráticos estratificados; Basaltos maciços em rolos; Basaltos maciços em rolos com carbonatos; Basaltos vesiculares em rolos; Basaltos porfiríticos com bancadas de lapilli; Basaltos maciços; Basaltos vesiculares inferiores; Basaltos com disjunção colunar; Basaltos com disjunção esferoidal; Basaltos vesiculares intermédios; Basaltos olivínicos; Basaltos amigdalóides; Basaltos vesiculares superiores; Depósitos de lapilli litificados; Depósitos de lapilli estratificados; Depósitos escoriáceos grosseiros; Depósitos de cascalheiras e

Materiais detríticos grosseiros de vertente. Os materiais incluídos nas unidades descritas por Depósitos aluvionares e Depósitos de praia não foram amostrados e ensaiados, atendendo à variabilidade local de características.

Para melhor identificação do local, do perfil de amostragem e do ensaio específico, cada amostra é representada para os ensaios geotécnicos pela letra (S) e por um número (e.g S1); para os resultados geoquímicos pela letra G e um número (e.g G1); para os resultados da Mecânica das rochas, no caso do índice de *Schmidt* pela letra L e um número (e.g L1); e para os resultados de carga pontual (*PLT*) pela letra P e um número (e.g P1). Os resultados aparecem organizados em tabelas, e respeitam à caracterização de 28 unidades de entre as 30 unidades cartografadas na área de estudo.

5.1.1 Mantos e filões básicos e ultra-básicos

As 15 análises granulométricas realizadas distribuem-se por tipo de solos conforme se ilustra na figura 5.1. Os valores demonstram que das 15 amostras ensaiadas, 26,6% apresentam segundo a Classificação Unificada, uma classificação SM (areia siltosa e areia siltosa com cascalho), 26,6% CH (argila gorda arenosa e silte elástico arenoso), 26,6% SC-SM (areia argilo-siltosa e areia argilo-siltosa com cascalho) e 20% SC (areia argilosa com cascalho); o termo cascalho segundo a classificação Unificada utilizada diz respeito às amostras que apresentam $\geq 15\%$ de fracção $> 4,75\text{mm}$. Esta repartição de classes granulométricas permite salientar a heterogeneidade dos diferentes corpos presentes na unidade. Na tabela 5.2 sintetizam-se os resultados obtidos.

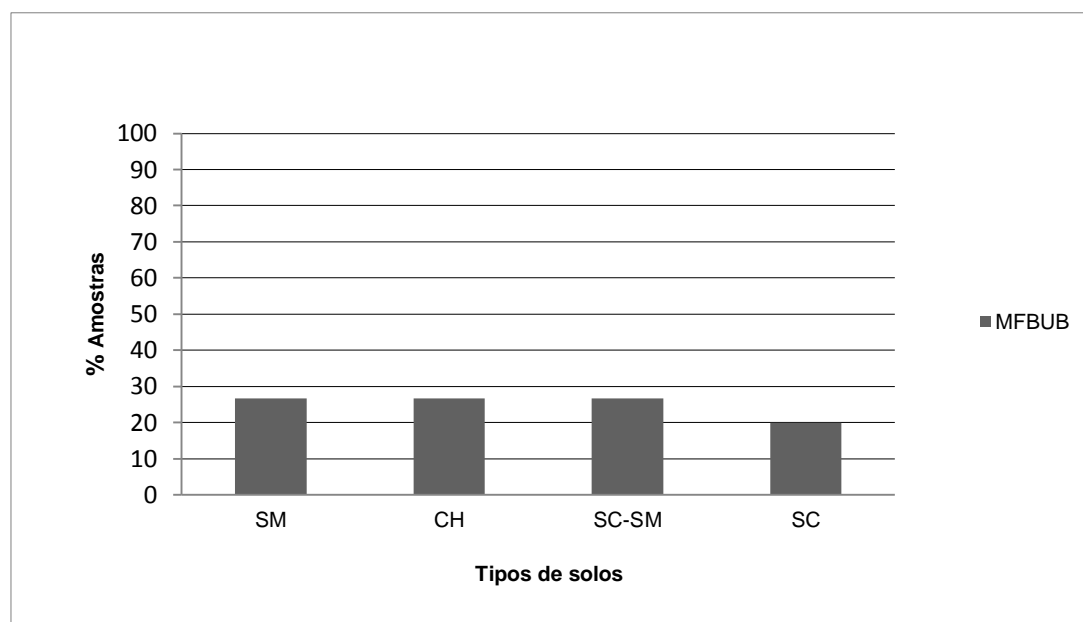


Figura 5.1 - Classificação dos tipos de solos – Mantos e filões básicos e ultra-básicos (MFBUB).

As amostras de areias siltosas com cascalho (SM), respectivamente, (S62, S38 e S3), apresentam finos plásticos com percentagens que variam entre 23,7% e 44,3%, com índice de plasticidade entre 24% a 36%. O teor de humidade situa-se entre 5,4-8,5%; o peso

específico encontra-se entre 2,51-2,89 g/cm³, o que se traduz por solos com peso específico moderado a elevado. Apresentam expansibilidade elevada a muito elevada (23,1-33,4%). A classificação de Casagrande para os finos destas amostras é MH, ou seja os finos são siltes elásticos ou com elevada compressibilidade. De acordo com a classificação AASTHO, pertencem ao domínio A-7-5, o que se traduz por solos com finos argilosos, muito a extremamente plásticos. A amostra S14 corresponde a areias siltosas (SM), com finos (40,5%), moderadamente plásticos (15%) e com média expansibilidade (18,85%); o teor de humidade é 5,1%; o peso específico é 2,77 g/cm³, ou seja, muito elevado. Segundo a classificação de Casagrande os finos da amostra são ML, correspondendo os finos a siltes com baixa plasticidade. De acordo com a classificação AASTHO a amostra classifica-se como A-7-6, o que traduz solos com finos argilosos moderadamente plásticos.

As amostras de areias argilosas com cascalho (SC), representadas pelas amostras S37, S26 e S45, apresentam finos não plásticos e plásticos (S26), em que os finos correspondem a percentagens que variam desde 22,4% a 40,6% respectivamente, com IP desde não plástico (NP) a 21% (S37), pouco a moderadamente expansivos (8,1 a 18,7%); o teor de humidade situa-se entre os valores de 3,1 a 4,0%. A classificação de Casagrande para os finos das amostras é CL e ML, ou seja os finos são argilas magras e siltes. Conforme a classificação AASTHO, os materiais pertencem aos grupos A-7-6 e A-4, o que se traduz por amostras de solos com finos argilosos e siltosos.

As amostras de areias argilo-siltosas e argilo-siltosas com cascalho (SC-SM), representadas pelas amostras S52, S2, S28, S63, apresentam finos não plásticos, com percentagens de 33%, 49%, 38% e 29,8% respectivamente, contrastando com a expansibilidade entre os valores 7,2-23,3% (baixa a alta). O teor de humidade varia de 3,9 a 14,2%; o peso específico é elevado a muito elevado (2,59 a 2,87 g/cm³). A classificação de Casagrande para os finos destas amostras é CL, ou seja os finos são argilas magras. Conforme a classificação AASTHO, o material cai no domínio A-4, o que se traduz por solos com finos siltosos.

As amostras de argilas gordas arenosas e argilas gordas (CH), representadas pelas amostras S9, S57 e S36, apresentam fracção granulométrica fina plástica, com percentagens de 56,3%, 76,1% e 82,4%, respectivamente, e com IP de 19%, 39% e 34% em concordância com a expansibilidade que varia entre 14,9 a 18,8%, o que se traduz por solos com média a elevada expansibilidade. O teor de humidade varia de 7,1 a 12,3%; o peso específico é elevado a muito elevado (2,63-2,99 g/cm³). A classificação de Casagrande para os finos destas amostras é de MH e CH, ou seja, estamos na presença de finos siltes de elevada compressibilidade e argilas gordas (S36). Conforme a classificação AASTHO, as amostras pertencem ao grupo A-7-5 e A-7-6 (S36), o que significa serem solos com finos argilosos muito a extremamente plásticos.

Os materiais siltes de elevada compressibilidade e arenosos (CH) representados pela amostra S43 apresentam 43,5% de finos, com índice de plasticidade elevada (20%) segundo a classificação de Casagrande de Plasticidade, e com comportamento expansivo (15%); contêm teor de humidade (12,3%), sendo o peso específico muito elevado (2,81 g/cm³). Os finos são MH, siltes de elevada compressibilidade e segundo a AASTHO, pertencem ao grupo A-7-5, o que correspondem a solos com finos argilosos, muito plásticos.

Passa-se a descrever as curvas granulométricas, não uniformes, das 15 amostras referentes à unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos. Pela análise da figura 5.2, conclui-se que as curvas granulométricas apresentam duas formas características: um primeiro grupo, com curvas granulométricas de solos bem graduados com granulometria extensa (S3, S52,S26,S62,S38) e um segundo grupo constituído por solos mal graduados com curva granulométrica de distribuição aberta.

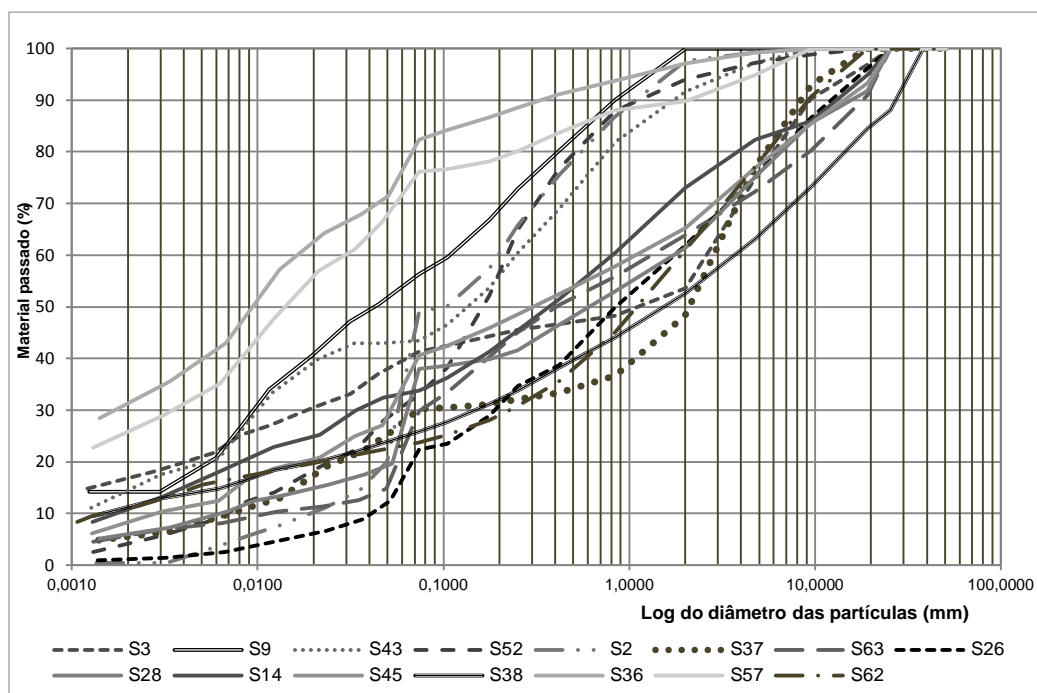


Figura 5.2 - Curvas granulométricas – Mantos e filões basálticos e ultra-básicos.

Na tabela 5.1 está representada a Classificação de Plasticidade de Casagrande (igualmente projectada na figura 5.3) e de AASTHO, onde podemos constatar que a maioria dos finos das amostras é caracterizada por uma classificação de MH e CL.

Tabela 5.1 - Classificação da Carta de Plasticidade de Casagrande e de AASTHO - Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Amostra	Carta de Casagrande	AASTHO
S3	MH	A-7-5
S9	MH	A-7-5
S43	MH	A-7-5
S52	CL	A-4
S2	CL	A-4
S37	CL	A-7-6
S63	CL	A-4
S26	CL	A-4
S28	CL	A-4

S14	ML	A-7-6
S45	ML	A-7-6
S62	MH	A-7-5
S38	MH	A-7-5
S36	CH	A-7-6
S57	MH	A-7-5

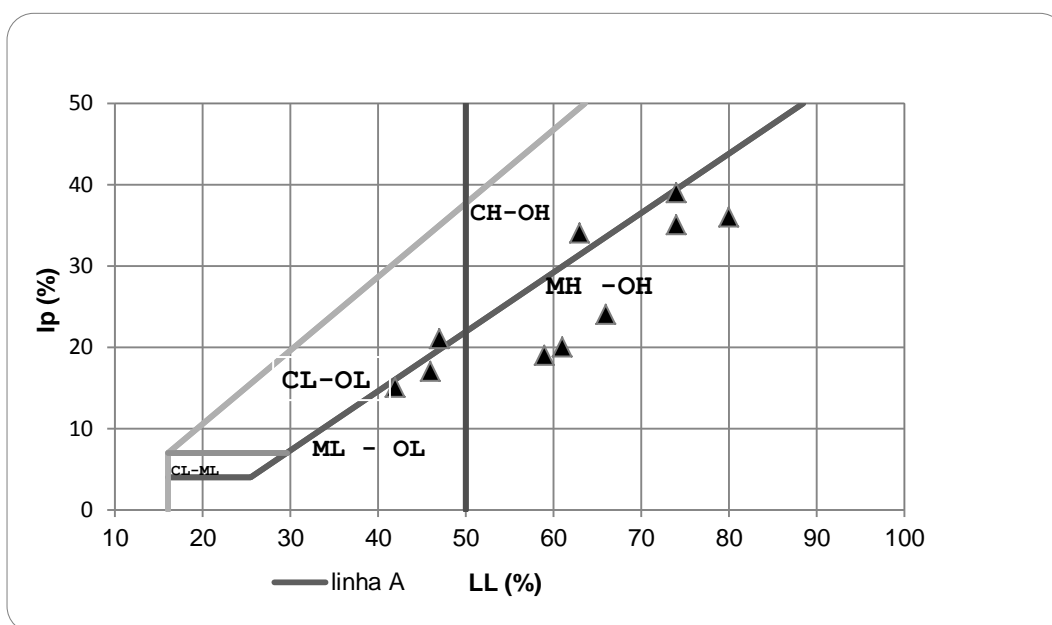


Figura 5.3 - Carta de Plasticidade de Casagrande – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Relativamente à Classificação de AASTHO, as amostras situam-se em 3 grupos, A-7-5, A-7-6 e A-4 (figura 5.4).

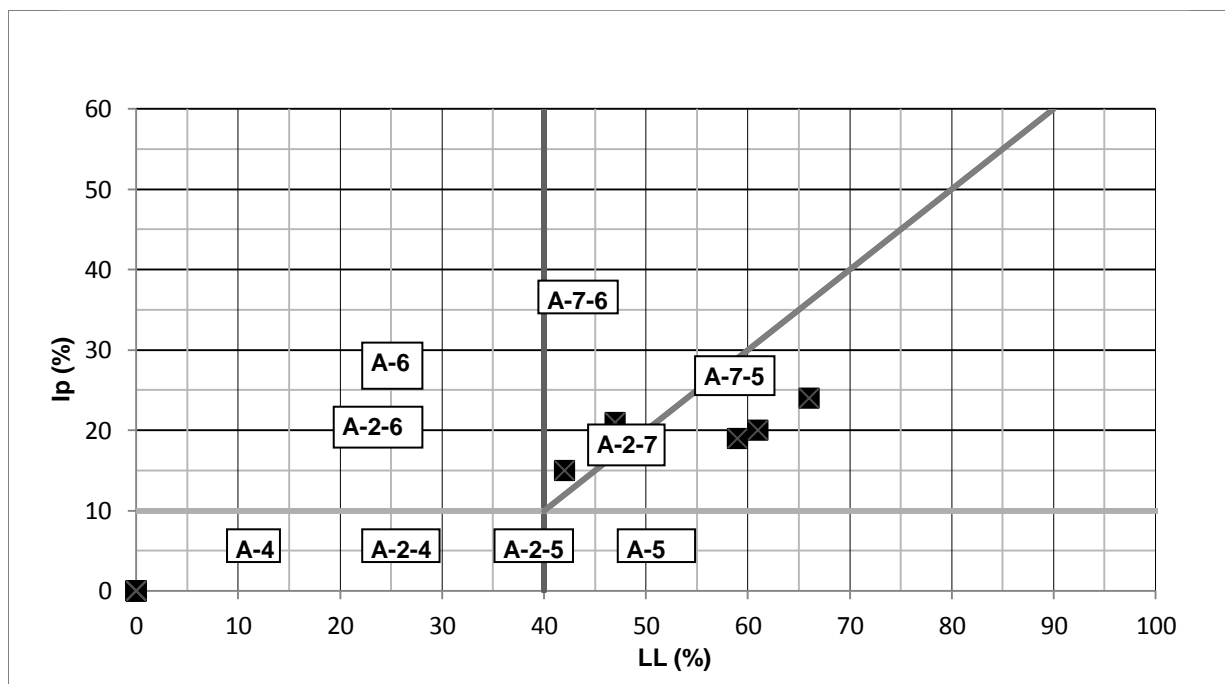


Figura 5.4 - Classificação de AASTHO – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Conclui-se que os materiais amostrados relativamente à unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos se caracterizam na sua maioria como solos alcalinos com finos argilosos, plásticos e expansivos. Conforme referido no capítulo anterior, esta unidade é genericamente caracterizada pela presença de materiais de natureza arenítica grosseira a micro-arenítica, existindo alguns afloramentos já bastante alterados em que os materiais apresentam uma matriz fina, pelítica.

De acordo com a Classificação textural, na figura 5.5, observa-se que 43% das amostras da unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos pertencem ao grupo das argilas arenosas, 36% são areias argilosas, 14% são argilas e 7%, são areias siltosas (S28).

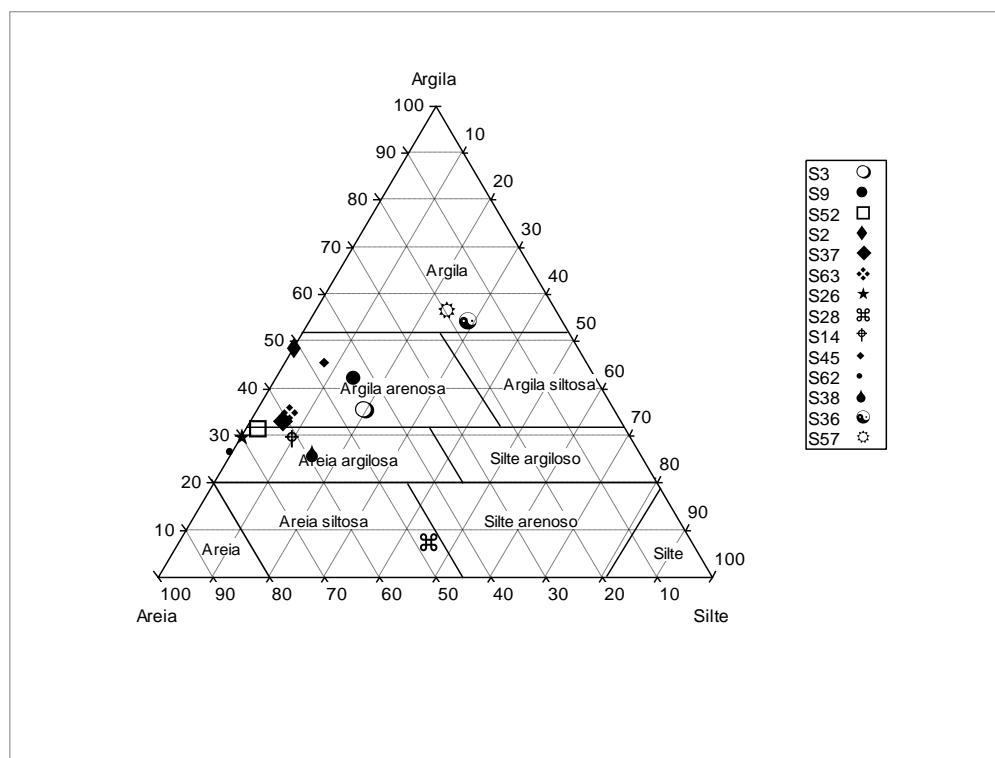


Figura 5.5 - Classificação textural – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

A caracterização laboratorial da fracção argilosa realizou-se sempre que possível nos perfis amostra estudados, em corpos conglomeráticos, arenosos e pelíticos, cujos resultados transparecem na tabela 5.3.

Os resultados traduzem para a maioria das amostras um comportamento plástico e expansivo. Tomando ainda em consideração a superfície específica (S_a) presente, pode inferir-se a influência da fracção argilosa, nomeadamente da esmectite, no comportamento dos materiais, os quais apresentam uma sensibilidade à água do tipo argiloso (minerais pouco ou moderadamente activos).

As amostras relativas à unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos evidenciaram valores de pH básico entre 7,7 e 8,2; demonstraram igualmente valores elevados de adsorção ao azul-de-metileno e uma superfície específica mínima de $9,9 \text{ m}^2/\text{g}$ e uma máxima de $149,1 \text{ m}^2/\text{g}$. Esta variação dos valores da superfície específica pode estar relacionada com a natureza das amostras, uma vez que estes são materiais conglomeráticos, arenosos e pelíticos. Num total das 15 amostras, 7 amostras são do tipo ilite, com sensibilidade moderada na presença da água, 4 amostras são do tipo vermiculite com sensibilidade elevada na presença da água, 4 amostras são do tipo caulinite, com pouca sensibilidade à água, e uma amostra do tipo amorfa (G9).

Tabela 5.2 - Resultados geotécnicos para as amostras de Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Local de amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação Unificada ASTM (D2487-85)	
													Símbolo do Grupo	Nome do Grupo
Quartel Escola Policia	Única	S3	5,4	53,6	46,7	41,3	14,8	66,0	42,0	24,0	2,89	33,4	SM	Areia siltosa com cascalho
Bela Vista	Topo	S9	9,9	100,0	80,2	56,3	7,6	59,0	40,0	19,0	3,0	14,9	CH	Argila gorda arenosa
	Base	S43	12,3	91,7	69,0	43,5	11,1	61,0	41,0	20,0	2,8	15,0	CH	Silte elástico arenoso
Estrada Hospital Trindade	Topo	S52	14,2	94,8	76,8	33,0	2,5	NP	NP	NP	2,9	23,3	SC-SM	Areia argilo-siltosa
	Base	S2	14,1	97,6	75,5	49	0,5	NP	NP	NP	2,7	7,2	SC-SM	Areia argilo-siltosa
Circular Norte	Topo	S37	3,1	48,4	33,3	30,2	4,9	47,0	26,0	21,0	2,6	18,7	SC	Areia argilosa com cascalho
	Base	S63	9,4	63,9	50,4	29,8	4,5	NP	NP	NP	2,7	24,5	SC-SM	Areia argilo-siltosa com cascalho
Safende	Topo	S26	5,3	61,9	38,7	22,4	1,0	NP	NP	NP	2,5	8,1	SC	Areia argilosa com cascalho
	Base	S28	3,9	61,4	46,5	38,0	5,2	NP	NP	NP	2,6	15,6	SC-SM	Areia argilo-siltosa com cascalho
Monte Pensamento	Topo	S14	5,1	73	61,9	40,5	8,4	42,0	26,7	15,0	2,8	18,8	SM	Areia siltosa
	Base	S45	4,0	65,2	52,5	40,6	6,2	46,0	29,0	17,0	2,9	16,7	SC	Areia argilosa com cascalho
12 A – NE Monte Saco	Topo	S62	8,5	61,0	35,7	23,7	0,0	74,0	39,0	35,0	2,5	25,3	SM	Areia siltosa com cascalho
	Base	S38	7,3	77,8	63,6	44,3	25,7	80,0	44,0	36,0	2,53	23,1	SM	Areia siltosa com cascalho
14 A Estrada Pensamento	Topo	S36	6,2	97,1	91,1	82,4	28,5	63,0	29,0	34,0	2,6	18,8	CH	Argila gorda
	Base	S57	7,1	89,8	83,7	76,1	22,7	74,0	34,8	39,0	2,7	16,2	CH	Argila gorda arenosa

Tabela 5.3 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Local de amostragem	Tipo ou fonte da amostra	Nº Amostra	pH	% <0,030 mm	Superfície específica (Sa)	Argilas por difractometria de Raios-X	Quantificação das argilas
Bela Vista	Topo	G9	7,7	14,2	64,5	Não detectado	Zero
	Base	G43	7,7	17,5	107,4	Esm. + K	D (84%) + Rs
Quartel Escola Policia	Maciço	G3	8,0	18,3	9,9	Esm. + k + I (?)	D (85%) + Rs + Rs
Estrada Hospital da Trindade	Topo	G52	8,0	5,8	73,9	Esm.	D.
	Base	G2	8,2	0,5	52,1	Esm. + K (?)	D (97%) + Rs
Circular Norte/Ribeira de Laranjo	Topo	G37	7,9	6,5	47,4	Esm. + I	D (92%) + Rs
	Base	G63	7,9	7,0	47,5	Esm. + I	D (86%) + Rs
Safende	Topo	G26	8,8	1,4	13,0	Esm. + I	D (92%) + Rs
	Base	G28	8,1	7,3	17,5	Esm. + I	D (94%) + Rs
Monte Pensamento	Topo	G14	8,0	13,2	41,5	Esm. + I	D (88%) + Rs
	Base	G45	8,0	10,4	34,6	Esm. + I (?)	D + Rs
12A-NE Monte Saco/Circular Sul	Topo	G62	8,1	1,2	56,3	Esm. + I+ K (?)	D + Rs + Rs
	Base	G38	8,1	13,0	40,0	Esm. + I	D + Rs
14A- Estrada Pensamento	Topo	G36	8,1	35,5	149,1	Esm. + I	D (84%) + Rs
	Base	G57	8,2	29,0	105,1	Esm. + I	D (94%) + Rs

Esm. – Esmedite; I- Ilite; K- Caulite; D- Dominante; Rs- Residual

Não há uma clara relação entre a percentagem de finos nas amostras ($\% < 0,030$ mm), a superfície específica e o cortejo argiloso. Por exemplo a amostra G2 apresenta-se com muito baixa percentagem de finos (praticamente nula) mas com uma superfície específica de $52,1 \text{ m}^2/\text{g}$ em que a argila dominante é a esmedite (97%). Em contraste a amostra G3 apresenta moderada quantidade de finos (18,3%) mas com uma superfície específica baixa ($9,9 \text{ m}^2/\text{g}$). Estas diferenças podem estar relacionadas com o facto da amostra G2 ser não plástica e a amostra G3 apresentar plasticidade moderada.

Com base nos dados de coeficiente de argilosidade (ACB) e actividade coloidal (Ac), as amostras que apresentam valores superiores dizem respeito a amostras com actividade muito activa, activa e normal, do tipo montmorilonite, explicando assim o comportamento plástico e expansivo da maior parte das amostras.

Os ensaios realizados com o martelo de *Schmidt* foram efectuados sempre que possível, nos pontos de amostragem respeitantes aos ensaios geotécnicos e geoquímicos e procurando realizar uma cobertura em todas as unidades litológicas. Para além de medições realizadas nos maciços, procurou-se sempre que possível a realização das medições em filões, brechas e rolos.

Na tabela 5.4 apresentam-se resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt*, para os Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Os resultados obtidos, demonstram existir variação muito significativa nos resultados de índice R e da compressão uniaxial (MPa). Os valores mais elevados são relativos aos filões, que apresentam resultados entre 34 ± 15 e 160 ± 70 MPa (figura 5.6) como valores superiores; as zonas alteradas apresentam valores médios de $33-38\pm15$ MPa. Os afloramentos desta unidade apresentam localmente aspectos indiciando maior humidade relativa dos materiais, nomeadamente nos locais com maior grau de alteração. O grau de alteração genérico patenteado pelos materiais em afloramento é W4,5 (muito alterado a completamente alterado ou solo residual). Localmente observam-se filões mais conservados, com grau de alteração W3,4 (moderadamente a muito alterado), diferenciando-se dos materiais encaixantes mais alterados.

Tabela 5.4 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* para os Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Local de Amostragem	Tipo de Amostra	Nº Ensaio	Horizontalidade do martelo	Leitura média directa do martelo (ou energia do impacto)	Dureza de Schmidt (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Bela Vista	Topo	L66	0°	10	20	40 ± 15
	Base	L67	0°	10	20	38 ± 15
	Filão	L82	0°	10	20	40 ± 15
Quartel Escola Polícia	Maciço	L79	0°	10	20	38 ± 15
Estrada Hospital Trindade	Topo	L44	0°	10	20	38 ± 15
	Base	L45	0°	10	20	34 ± 15
Circular Norte/Ribeira Laranjo	Topo	L52	0°	10	20	33 ± 15
	Base	L53	0°	10	20	34 ± 15
Safende	Topo	L62	0°	10	20	33 ± 15
	Base	L63	0°	10	20	33 ± 15
	Filão	L64	0°	30	27	34 ± 15
Monte Pensamento	Topo	L68	0°	10	20	35 ± 15
	Base	L69	0°	10	20	38 ± 15
	Filão	L70	0°	42,5	46	160 ± 70
NE Monte Saco/ Circular Sul	12A -Topo	L38	0°	10	20	33 ± 15
	12A -Base	L39	0°	10	20	33 ± 15
Estrada de Pensamento	14A -Topo	L46	0°	10	20	34 ± 15
	14A - Base	L47	0°	10	20	35 ± 15
	14A - filão	L48	0°	20	27	38 ± 15

À percussão ao martelo, os materiais mais alterados apresentam-se friáveis e os filões mais conservados respondem como pouco compactos a medianamente compactos. Estas características do estado *in situ* são contrastantes com as propriedades físicas dos materiais que apresentam finos argilosos, plásticos e expansivos.

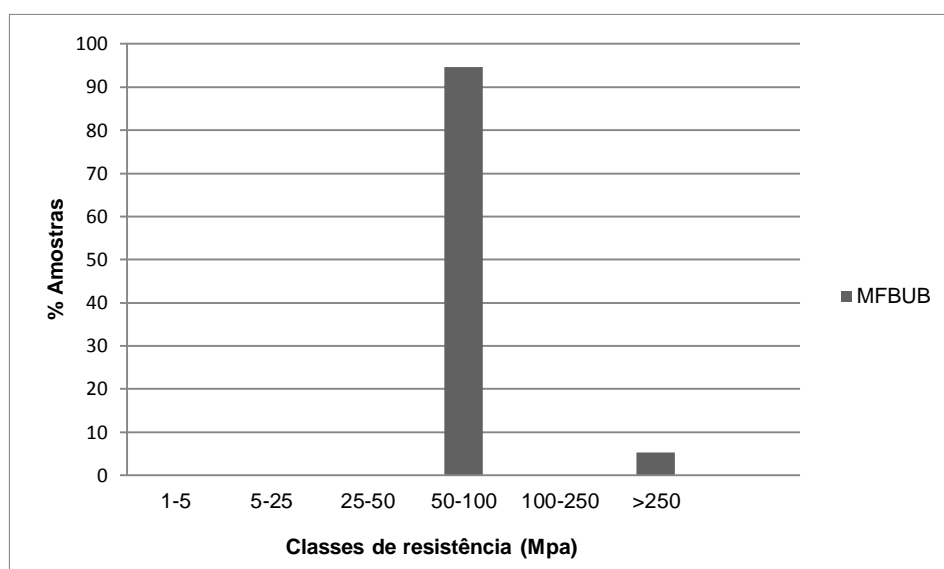


Figura 5.6 - % Amostras vs classes de resistência (MPa) – Mantos e filões básicos e ultra-básicos (MFBUB).

Foram realizadas várias tentativas para recolha de amostras para a realização do ensaio de carga pontual (*Point Load Test*) em várias estações da área de estudo, respeitantes à unidade dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos. As condições dos afloramentos *in situ* não proporcionaram a recolha de amostras, uma vez que os materiais se encontram em estado avançado de alteração, e na recolha ou ao corte e talhamento fracturavam-se não permitindo obter blocos. Apenas no Monte Pensamento (Estação F18), foi possível a recolha de amostra de um filão. A amostra P21, para a tensão máxima à resistência, originou um valor de 5,6 MPa e para a tensão média 4,32 MPa.

Realizou-se uma comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (*Point Load Test*) e por UCS, sendo os valores obtidos de 160 ± 70 , 4,32 e 103,68 MPa, respectivamente.

Aplicando a classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972), conclui-se que o filão desta unidade apresenta uma resistência muito elevada (3-10 MPa). Outra classificação é a de Bieniawski (1974), para a caracterização da resistência do material rochoso, o que indica que o material tem uma resistência elevada (4-8 MPa).

5.1.2 Fonólitos e traquitos maciços

Esta unidade é caracterizada em dois níveis (1º e 2º níveis) que apresentam em afloramento graus de alteração variando entre W1 a W3 (fresco ou são a moderadamente alterado), e apresentando uma resistência avaliada em muito compactos a pouco compactos à percussão ao martelo. Encontram-se localmente materiais com o grau de alteração W4, muito alterados e pouco compactos a friáveis à percussão ao martelo, sendo assim possível realizar ensaios relativos à mecânica dos solos, mas também da mecânica das rochas, relativamente o ensaio de *Schmidt*.

Foram ensaiados materiais representativos desta unidade (tabela 5.5), recorrendo a ensaios como análise granulométrica, teor em água, limites de Atterberg, expansibilidade, classificação unificada da ASTM (1985) e textural, classificação de Casagrande e de AASTHO. Os ensaios da mecânica das rochas envolveram a realização do índice de *Schmidt* (esclerómetro) e *Point Load Test* (carga pontual). Os ensaios geoquímicos dizem respeito ao pH do solo, azul-de-metileno e determinação da fracção argilosa por difractometria de raios-X que passamos a detalhar, no total de duas amostras. O recurso a estes ensaios foi determinado de acordo com as condições *in situ*.

Ganulometricamente as amostras são representadas por cascalhos mal graduados com argila e areia (GP-GC; S51), e cascalhos mal graduados com silte e areia (GP-GM; S29), apresentam uma percentagem de finos baixa (5,1%-6,5%) com características de finos não plásticos (NP) e determinam genericamente uma expansibilidade relativamente média que se situa no intervalo 11,8-12,0%. O teor de humidade *in situ* varia entre 4,1-4,6%; o peso específico é elevado (2,63-2,65 g/cm³). Conforme a classificação AASTHO (figura 5.7 e tabela 5.2), os finos das amostras pertencem ao grupo A-4, o que corresponde a solos com finos siltosos. As amostras dos solos S51 e S29 são classificadas nos grupos A-1-a e A-2-7, que correspondem a materiais granulares com fragmentos de pedra, cascalho e areia, bem como a cascalho e areia com finos siltosos ou argilosos, respectivamente.

Pela análise da figura 5.7, conclui-se que os Fonólitos e traquitos maciços são mal graduados, com curvas não uniformes e com maior proporção de material grosseiro.

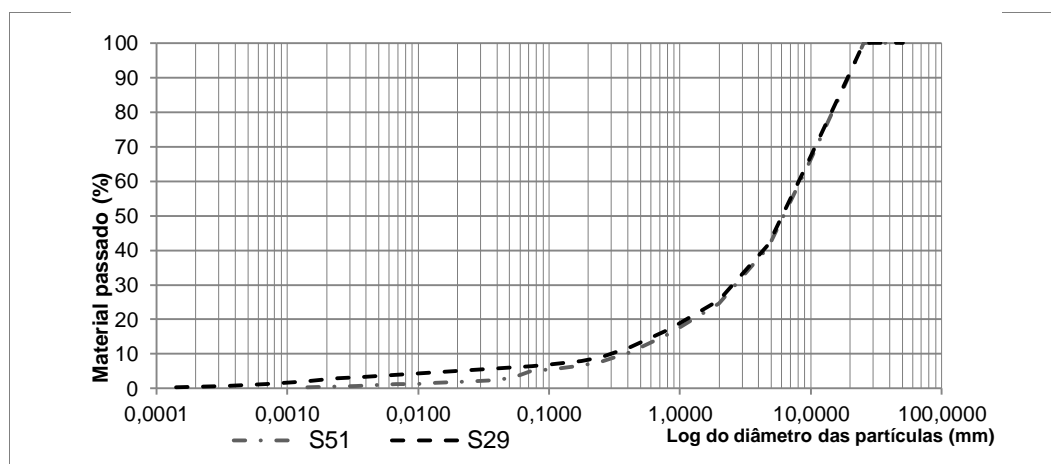


Figura 5.7 - Curvas granulométricas – Fonólitos e traquitos maciços.

Segundo a classificação textural dos materiais não grosseiros, as amostras S51 e S29 apresentam uma representação granulométrica de areia de 84-88%, silte de 11-14% e argila de 1-2%; tratando-se assim de areias.

Tabela 5.5 - Resultados geotécnicos para as amostras de Fonólitos e traquitos maciços.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº de amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM (D2487-85)	
													Símbolo do Grupo	Nome do Grupo
Safende	1º nível - Topo	S51	4,6	24,7	10,6	5,1	0,0	NP	NP	NP	2,63	12,0	GP-GM	Cascalho mal graduado com argila e areia
	2º nível - Base	S29	4,1	25,6	12	6,5	0,4	NP	NP	NP	2,65	11,8	GP-GM	Cascalho mal graduado com silte e areia

A caracterização laboratorial da fracção argilosa realizou-se nos perfis amostra estudados (2º nível), cujos resultados se apresentam na tabela 5.6. Para os Fonólitos e traquitos maciços a superfície específica caracteriza-se por valores baixos, variando entre 2,5 a 7,5m²/g, em que o cortejo argiloso é claramente formado pelos minerais de caulinite.

Observam-se duas associações mineralógicas: esmectite+caulinite+vermiculite e esmectite+caulinite+illite. Embora a esmectite seja largamente dominante, as amostras revelam comportamento não plástico e moderadamente expansivo dado a pequena percentagem de finos. O pH dos solos é básico (8,6-9,2).

O coeficiente de argilosidade e actividade coloidal apresentaram valores praticamente nulos, o que está de acordo com os valores baixos de argila e de adsorção de azul-de-metileno.

Tabela 5.6 - Caracterização mineralógica-geoquímica - Fonólitos e traquitos maciços.

Local de Amostragem	Tipo de ou fonte da amostra	Nº Amostra	pH	% <0,030 mm	Superfície específica (Sa)	Argilas por difractometria de Raios-X	Quantificação das argilas
Safende	2º nível-Topo	G51	9,2	0,7	7,5	Esm. + K + V	D (85%) + Rs + Rs
	2º nível-Base	G29	8,6	0,8	2,5	Esm. + K+ I	(70%) + (26%) + Rs

Esm. – Esmectite; I- Illite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs- Residual

A unidade litológica dos Fonólitos e traquitos maciços (1º e 2º níveis) apresenta valores de resistência à compressão simples quando ensaiados com o martelo de *Schmidt*

(72±25 a 160±70 MPa). Nota-se que o 1º nível do afloramento apresenta entre valores médios de 160±70 MPa e o 2º nível, com materiais alterados (conforme já referido), exhibe menores valores máximos de resistência de 72±25 MPa (tabela 5.7). Por sua vez estes valores assemelham-se com os valores encontrados para as escoadas fonolíticas nas ilhas Canárias (Tenerife), que exibem valores de compressão simples, na ordem dos 100-150 MPa para uma densidade seca de 21-22 KN/m³ (Vallejo & Ferrer, 2006).

Tabela 5.7 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* para os Fonólitos e traquitos maciços.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da amostra	Nº Ensaio	Horizontalidade do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Safende	Topo	L60	0º	42	45	160±70
	Base	L61	0º	36	35	72±25

Obteve-se um valor máximo através do *Point Load Test* (amostra P14) de resistência máxima de 4,8 MPa e para a resistência média 4,08 MPa. Realizou-se uma comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (*PLT*) e por UCS, em que os valores são 160±70, 4,08 e 97,92 MPa, respectivamente.

Aplicando a classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972), conclui-se que o topo deste afloramento (P14), apresenta uma resistência muito elevada (3-10 MPa). A classificação de Bieniawski (1974), para a resistência do material rochoso, indica que este material tem uma resistência elevada (4-8 MPa).

5.1.3 Fonólitos e traquitos brechificados

Esta unidade é caracterizada por materiais friáveis à percussão e muito ou completamente alterados, o que se traduz por um intervalo de valores de estado de alteração W4,5.

Foram ensaiados materiais representativos desta unidade, envolvendo a análise granulométrica, teor em água *in situ*, limites de Atterberg, expansibilidade, classificação unificada da ASTM (1985) e textural (figura 5.8), assim como as classificações de Casagrande e de AASTHO. Os ensaios da mecânica das rochas envolveram a realização do índice de *Schmidt* (esclerómetro) e *PLT* (carga pontual; tabela 5.10). Os ensaios geoquímicos (tabela 5.9) conduziram à determinação do pH do solo, azul-de-metileno e determinação da fracção argilosa por difractometria de raios-X que passamos a detalhar, no total de três amostras.

As amostras S7, S61 e S35, são granulometricamente areias siltosas (SC), argilas com elevada compressibilidade (CH) e siltes arenosos (ML), respectivamente; apresentam finos com conteúdo volumétrico entre 44,0% e 64,0%, com comportamento plástico muito elevado (20,0%-23,0%) e não plástico (NP;S35) e uma expansibilidade moderada (16,5 a 22,5%). O peso específico é elevado (2,6-2,8 g/cm³) e o teor de humidade situa-se entre 6-

8,8%. A classificação de Casagrande da Plasticidade para os finos das amostras S7 e S61 é MH, ou seja os finos são siltes com elevada compressibilidade. De acordo com a classificação AASTHO, as amostras pertencem ao grupo A-7-5, o que se traduz por solos com finos argilosos.

Pela análise da figura 5.8, conclui-se que as curvas granulométricas dos Fonólitos e traquitos brechificados são mal graduadas, com curvas lineares, sinónimo de distribuição extensa, não uniformes.

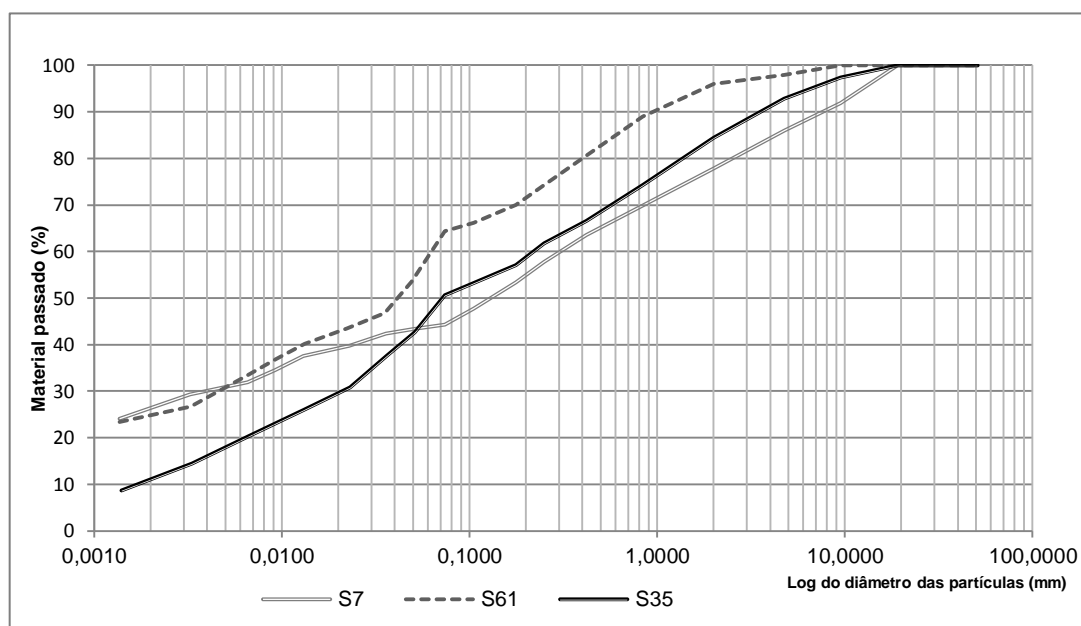


Figura 5.8 - Curvas granulométricas – Fonólitos e traquitos brechificados.

Segundo a Classificação Textural (figura 5.9), as amostras S61, S35, S7 são do tipo areia argilosa, silte arenoso e areia argilosa.

Tabela 5.8 - Resultados geotécnicos para as amostras de Fonólitos e traquitos brechificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte de Amostra	Nº de amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM (D2487-85)	
													Símbolo do grupo	Nome do Grupo
12B-NE Monte Saco/Circular Sul	Base	S7	8,8	77,8	63,6	44,3	24,1	56,0	35,3	20,0	2,8	16,5	SM	Areia siltosa
14 B – Estrada Pensamento (São Pedro Latada)	Topo	S61	6,1	96,0	80,6	64,3	23,4	60,0	37,0	23,0	2,6	22,5	MH	Silte elástico arenoso
	Base	S35	6,0	84,4	66,6	54,6	8,7	NP	NP	NP	2,6	19,9	ML	Silte arenoso

Os solos dos Fonólitos e traquitos brechificados são alcalinos, com superfície específica variando de 34,8 a 84,3 m²/g. Três das quatro amostras ensaiadas com o azul-de-metileno apresentam um cortejo argiloso dominado pela ilite e a quarta amostra por vermiculite. Observa-se 3 associações mineralógicas argilosas em que a esmectite varia entre 86,0-95,0% de representação: associações esmectite+caulinite, esmectite+ilite, e esmectite+caulinite+vermiculite.

O incremento da presença da esmectite indicia comportamento de elevada plasticidade. Com base no coeficiente de argilosidade que é de 39,0% a 43,4% e da actividade coloidal de 0,8%-0,9%, pode considerar-se que as argilas apresentam uma actividade normal do tipo ilite, traduzindo assim o comportamento expansivo moderado.

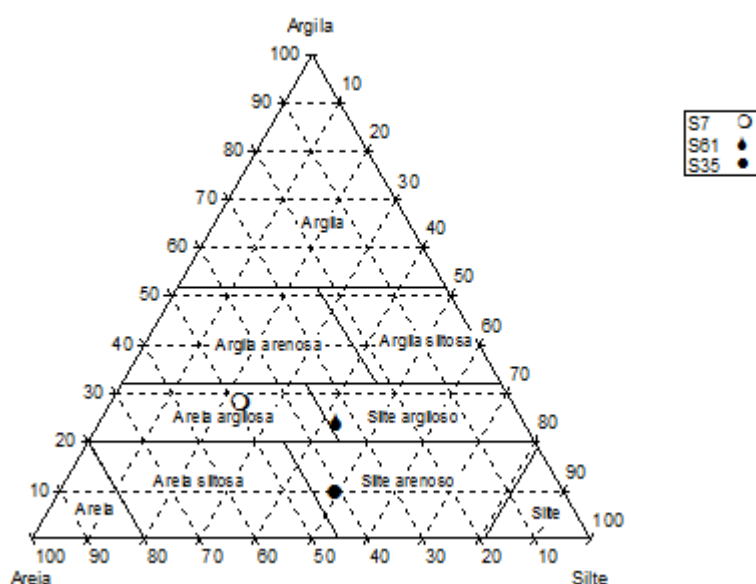


Figura 5.9 - Classificação Textural – Fonólitos e traquitos brechificados.

Tabela 5.9 - Caracterização mineralógica-geoquímica - Fonólitos e traquitos brechificados.

Local da Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	pH	% <0,030 mm	Superfície específica (Sa)	Argilas por difractometria de Raios-X	Quantificação das argilas
12B- NE Monte Saco/Circular Sul	Topo	G21	8,3	26,2	59,7	Esm. + I + K	D (87%) + Rs + Rs
	Base	G7	8,3	29,3	40,3	Esm. + I	D (95%) + Rs
14B- Estrada Pensamento	Topo	G61	7,9	26,7	84,3	Esm. + K + V	D (93%) + Rs + Rs
	Base	G35	7,8	14,5	34,8	Esm. + I + K	D (86%) + Rs + Rs

Esm. – Esmectite; I- Ilite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs- Residual

A unidade litológica constituída por Fonólitos e Traquitos brechificados, em termos de resistência à compressão uniaxial, apresenta valores de resistência referente ao ensaio do Martelo de *Schmidt* de 33-35±15 MPa (tabela 5.10). Estes valores são correspondentes

às características dos afloramentos *in situ*, no que diz respeito ao seu estado de alteração e resistência à percussão, pelo que não foi possível a realização do ensaio de PLT, uma vez que as amostras se desagregaram antes de atingir a rotura.

Tabela 5.10 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Fonólitos e traquitos brechificados.

Zona	Amostra	Nº Ensaio	Horizontalidade do martelo	Leitura directa do martelo	Valor médio de R	Resultados de σ_c (MPa)
NE de Monte Saco/Circular Sul	12B- Topo	L40	0°	10	20	35±15
	12B- Base	L41	0°	10	20	35±15
Estrada de Pensamento	14B- Topo	L80	0°	10	20	33±15
	14B-Base	L49	0°	10	20	33±15
	14B - filão	L50	0°	10	20	34±15

5.1.4 Gabros olivínicos e Sienitos feldpatoídicos

Pelas características de estado *in situ*, devido ao estado são ou fresco dos afloramentos, realizaram-se apenas nesta unidade os ensaios da Mecânica das Rochas, nomeadamente os ensaios de martelo de *Schmidt* e de carga pontual (PLT).

Os gabros olivínicos e sienitos feldpatoídicos, sendo rochas faneríticas, apresentam uma resistência média de 145,5±60 MPa, quando aplicado o ensaio do martelo de *Schmidt*. Relativamente à resistência da compressão simples por carga pontual, os valores da amostra P19 são de 7,0 MPa de tensão máxima e 5,6 MPa de tensão média. Realizou-se uma comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS e os resultados, são de 145,5±60, 5,6 e 134,1 MPa respectivamente. Com a aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972), esta unidade apresenta resistência muito elevada (3-10 MPa) e com a de Bieniawski (1974), para a resistência do material rochoso, a resistência é elevada (4-8 MPa).

Estes valores de resistência média segundo o martelo de *Schmidt* e de resistência muito elevada ou elevada contrastem com as características *in situ* dos Sienitos feldpatoídicos e gabros olivínicos, que se apresentam genericamente são, quanto ao seu estado de alteração, com um grau de alteração W1, respondendo de forma muito compacta à percussão ao martelo.

5.1.5 Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos

Foram realizados ensaios de índice de *Schmidt* e de carga pontual em amostras dos dois tipos de rochas, bem como de filões basálticos, como se pode observar na figura 5.11.

Os Vulcanoclastitos basálticos e os filões basálticos apresentam valores médios de 48-55±20 MPa. Os carbonatitos contrastam com estes dois tipos litológicos, exibindo valores superiores, na ordem dos 95±40 MPa, quando aplicado o esclerómetro de *Schmidt*.

Tendo em conta a resposta medianamente compacta a muito compacta dos Carbonatitos ígneos, efectuou-se o ensaio de carga pontual (PLT), em que os resultados são para a resistência máxima, 6,0 MPa e para a tensão média, 4,2 MPa.

Com a aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972), esta unidade apresenta resistência muito elevada (3-10 MPa), e com a classificação de Bieniawski (1974), resistência elevada (4-8 MPa). Estes aspectos podem ser correlacionados com as características *in situ*; os Vulcanoclastitos apresentam-se à percussão pouco compactos a friáveis, com grau de alteração variando entre pouco alterado a moderadamente alterado (W2,3), exibindo os filões carbonatíticos que cortam os Vulcanoclastitos basálticos também um grau de alteração W2,3, mas uma resposta medianamente compacta a muito compacta à percussão ao martelo.

Por sua vez os filões basálticos que cortam os Vulcanoclastitos basálticos, apresentam-se com grau de alteração moderado (W3) e respondem de forma pouco compacta à percussão.

Os resultados gerais obtidos pelos ensaios de compressão simples, de carga pontual e por UCS, em MPa, referentes à amostra P18, são de 95±40, 4,2, 101,6, respectivamente. Estes resultados traduzem que os filões basálticos são classificados como materiais de elevada resistência.

Tabela 5.11 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* para os Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos.

Tipos litológicos	Local da Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Horizontalidade do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de Schmidt (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Carbonatitos ígneos	Simão Ribeiro	Filões	L72	+ 90º	24	35	95±40
Basaltos		Filões	L73	0	22	28	55±20
Vulcanoclastitos basálticos		Maciço	L75	+ 90º	10	25	48±20

5.1.6 Conglomerados inferiores

Trata-se de conglomerados espessos, do tipo conglomerado-brechóide, constituídos por calhaus rolados, bastante alterados. Os calhaus são de natureza basáltica e traquítico-fonolítica. Dadas as características dos afloramentos *in situ*, foram realizadas ensaios geotécnicos e geoquímicos. A amostragem é representada no Perfil F14B (amostras S48,G48).

A amostra S48, segundo a Classificação Unificada (tabela 5.12), está representada pela classe granulométrica SW, correspondendo a areias bem graduadas com silte e

cascalho; apresentam finos, com representação volumétrica de 45,6%, com características não plásticas (0,4%) contrastando com a expansibilidade que se situa em valores considerados elevados, ou seja 26,3%. Segundo a classificação de Casagrande da Plasticidade para os finos, estes são do tipo ML, ou seja os finos considerados não plásticos, são siltes. O teor de humidade *in situ* é cerca de 10,3%; o peso específico é elevado (2,63 g/cm³). Conforme a classificação de AASTHO, a amostra pertence ao grupo A-4, o que traduz um material siltoso.

Tabela 5.12 - Resultados geotécnicos para as amostras de Conglomerados inferiores.

Local de Amostragem	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação (D 2487-85)	
												Símbolo do grupo	Nome do Grupo
Estrada de Pensamento	S48	10,3	57,7	52,6	45,6	9,8	31,8	32,2	0,4	2,63	26,7	SW	Areia bem graduada com silte e cascalho

Trata-se de uma amostra granulometricamente mal graduada com abertura na fracção argilosa. De acordo com a Classificação Textural, trata-se de um silte arenoso, com uma fracção arenosa de 29,0 %, silte 55,0 % e 16,0% de argila.

A amostra relativa à unidade (tabela 5.13) evidenciou uma superfície específica de 66,1 m²/g, com sensibilidade do tipo argiloso, com minerais pouco ou moderadamente activos (caulinite e ilite). Os cálculos realizados para o coeficiente de argilosidade e actividade coloidal são de respectivamente 19,6 e 0,03; este último valor indicativo de uma argila inactiva.

O incremento da representação relativa da caulinite e ilite parece diminuir significativamente o comportamento plástico da amostra.

Tabela 5.13 - Caracterização mineralógica-geoquímica - Conglomerados inferiores.

Local de Amostragem	Nº Amostra	pH	% <0,030 mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria de Raios-X	Quantificação das Argilas
Estrada de Pensamento	G48	7,893	13,6	66,1	Esm. + k	D (98%) + Rs

Esm. – Esmeclite; I- Ilite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs- Residual

Estes valores geoquímicos permitem explicar a elevada expansibilidade do material e denotando alguma sensibilidade na presença da água.

5.1.7 Brechas hialoclastíticas

As características do estado *in situ* proporcionaram a realização de ensaios geotécnicos e geoquímicos nos diferentes materiais, contudo os ensaios de PLT apenas foram realizados nos filões e *pillow-lavas* (rolos), dadas as suas características medianamente compactas a compactas, com estado de alteração W1,3.

Segundo a Classificação Unificada as brechas hialoclastíticas podem ser divididas em dois grupos distintos (tabela 5.14 e figuras 5.10 e 5.12); um grupo constituído por areias bem graduadas com argila e cascalho (SW) e areias bem graduadas argilo-siltosas com cascalho (SW-SC) com cerca de 56% de representação, e um segundo grupo constituído por areias mal graduadas com cascalho (SP-SM) e por areias siltosas e areias siltosas com cascalho (SM), representando 44% no total das amostras. As curvas granulométricas ilustram materiais mal graduados (amostras S11,S58,S40) e materiais bem graduados (amostras S50, S33,S13,S5,S3,S22).

Todas as amostras apresentam finos (9%-31%) não plásticos (NP) mas com algumas características expansivas (baixa a moderada; 7,7-15,9%). Segundo a Classificação de Casagrande de Plasticidade os finos são do tipo ML, ou seja os finos têm baixa compressibilidade.

O teor de humidade *in situ* é cerca de 9,4-16,9%; o peso específico é elevado a muito elevado (2,64-2,8 g/cm³). Conforme a Classificação de AASTHO, todas as amostras pertencem ao grupo A-4, ou seja são solos siltosos não plásticos.

De acordo com a classificação textural e figura 5.11, 6 das amostras respeitantes à unidade das Brechas hialoclastíticas são areias; as restantes 3 amostras, S22, S5 e S13, são areias siltosas.

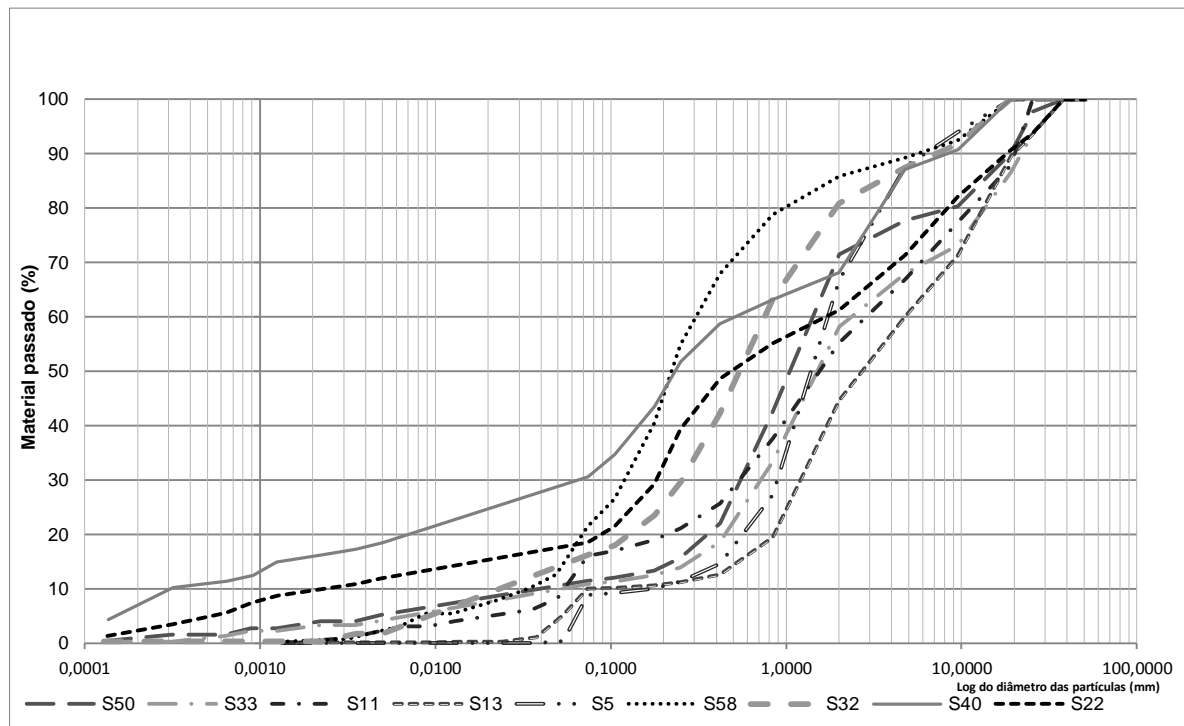


Figura 5.10 - Curvas granulométricas – Brechas hialoclastíticas.

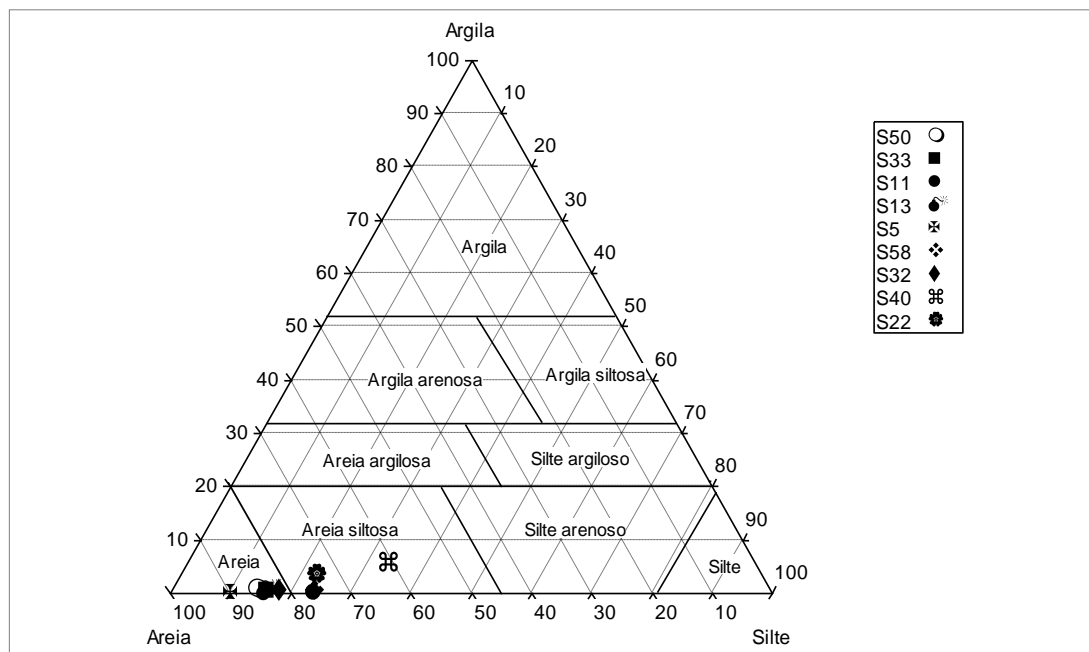


Figura 5.11 - Classificação textural – Brechas hialoclastíticas.

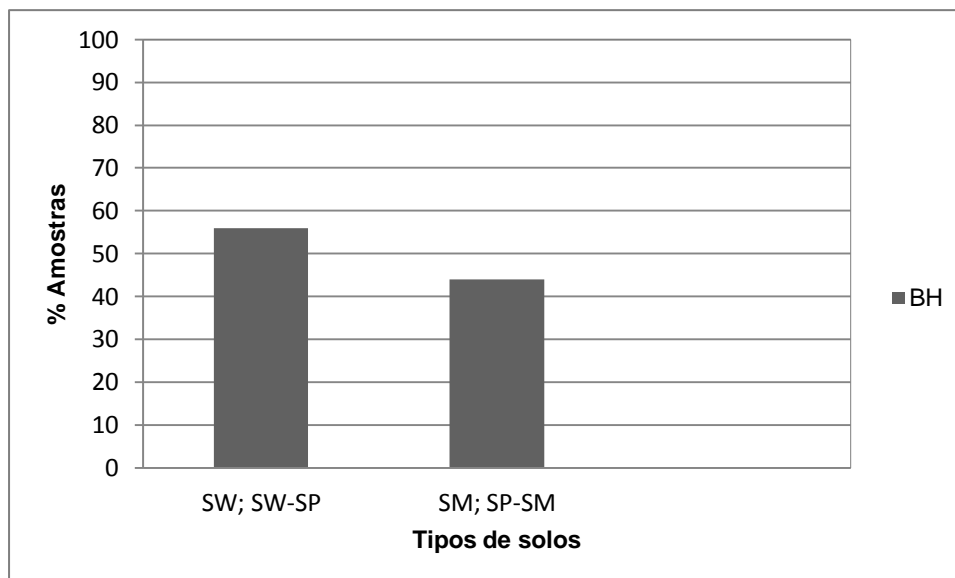


Figura 5.12 - % Amostras vs tipos de solos –Brechas hialoclastíticas.

Quanto à caracterização mineralógica-geoquímica (tabela 5.15), o pH varia no reduzido intervalo entre 7,8-8,0, tratando-se de materiais com pH alcalino. O cortejo argiloso das brechas hialoclastíticas mostra em sete amostras o domínio da esmectite e em duas amostras a associação esmectite+caulinite; a percentagem de esmectite varia entre 85-97%.

Com base nos valores da superfície específica, o valor mínimo é 3,7 m²/g e o máximo 66,8 m²/g. Os valores da superfície específica são moderados, pelo que se trata de amostras com uma sensibilidade escassa a moderada na presença da água (caulinite, ilite). O que se nota é que existem três amostras com valores superiores de superfície específica, com domínio da esmectite, e que exibem uma diferenciação relativamente aos materiais inferiores (Ribeira de Palmarejo Pequeno, Quebra Canela e Monte Babosa), o que indicia uma elevada argilização nos materiais mais superficiais.

A presença nas amostras de minerais do tipo argiloso e pouco ou moderadamente activos é explicado pela sua baixa proporção de materiais finos, não plásticos embora pouco a moderadamente expansivos. Os coeficientes de argilosidade situam-se entre os valores 0-7,8%, o que se explica pelos valores baixos de adsorção de azul-de-metileno e de percentagem de argila.

A resistência à compressão simples está directamente relacionada com a composição química e a densidade (Vallejo *et al*, 2006). As brechas hialoclastíticas apresentam densidades baixas, igualmente valores moderados de compressão situados entre os 48±20 MPa (tabela 5.16), bem como os filões com 67±25 MPa e as *pillow*-lavas (rolos) com 38±15 Mpa (figura 5.13).

Tabela 5.14 - Resultados geotécnicos para as amostras de Brechas hialoclastíticas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM D 2487-85	
													Símbolo do grupo	Nome do grupo
Chã de Areia	Topo	S50	10,1	71,5	22,1	11,5	0,4	NP	NP	NP	2,9	11,2	SW	Areia bem graduada com argila e cascalho
	Base	S33	10,5	58,2	18,6	10,9	0,3	NP	NP	NP	2,9	11,1	SW	Areia bem graduada com argila e cascalho
Ribeira do Palmarejo Pequeno	Topo	S11	16,4	55,2	25,7	15,9	0,0	NP	NP	NP	2,6	17,0	SP-SM	Areia mal graduada com cascalho
	Meio	S13	13,7	44,7	12,7	10,0	0,2	NP	NP	NP	2,7	11,2	SW	Areia bem graduada com argila e cascalho
	Base	S5	11,6	66,8	14,7	8,9	0,1	NP	NP	NP	2,7	7,7	SW	Areia bem graduada com argila
Quebra Canela	Topo	S58	9,4	85,8	68,0	21,5	0,3	NP	NP	NP	2,9	15,1	SM	Areia siltosa
	Base	S32	11,8	80,9	12,2	16,2	0,4	NP	NP	NP	2,9	15,2	SM	Areia siltosa
Monte Babosa	Topo	S40	12,4	68,2	58,7	30,6	4,3	NP	NP	NP	2,8	15,9	SM	Areia siltosa com cascalho
	Base	S22	9,6	61,2	48,7	12,0	1,3	NP	NP	NP	2,7	11,8	SW-SC	Areia bem graduada argilo-siltosa com cascalho

Tabela 5.15 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Brechas hialoclastíticas.

Unidade Lítica	Zona	Amostra	Nº Ensaio	pH	% <0,030 mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria de Raios-x	Quantificação das Argilas
Brechas hialoclastíticas	Chã de Areia	Topo	G50	7,9	1,6	6,9	Esm. + k	D (97%) + Rs
		Base	G33	8,1	0,3	3,9	Esm.	D.
	Ribeira do Palmarejo Pequeno	Topo	G11	7,8	1,0	29,6	Esm.	D.
		Meio	G13	7,9	0,2	5,3	Esm. + k	D (85%) + Rs
		Base	G5	8,2	0,1	3,7	Esm.	D.
	Quebra-Canela	Topo	G58	8,1	0,8	35,6	Esm.	D.
		Base	G32	8,0	0,4	2,5	Esm.	D.
	Monte Babosa	Topo	G40	7,9	10,2	66,8	Esm.	D.
		Base	G22	7,8	3,5	15,3	Esm.	D.

Esm. – Esmedite; I- Illite; K- Caulinte; D- Dominante; Rs- Residual

Tabela 5.16 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* para as Brechas hialoclastíticas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Horizontalidade do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Chã Areia	Filão	L3	0°	27	32	67,0±25
	Topo	L1	0°	10	20	38±15
	Base	L2	0°	10	20	38±15
Ribeira Palmarejo Pequeno	Rolos	L13	0°	10	20	38±15
	Topo	L10	+90°	10	25	48±20
	Meio	L11	+90°	10	25	48±20
	Base	L12	+90°	10	25	48±20
Quebra-Canela	Topo	L16	+90°	10	25	58±20
	Base	L17	+90°	10	25	58±20
Monte Babosa	Topo	L34	+90°	10	25	58±20
	Base	L35	+90°	10	25	58±20

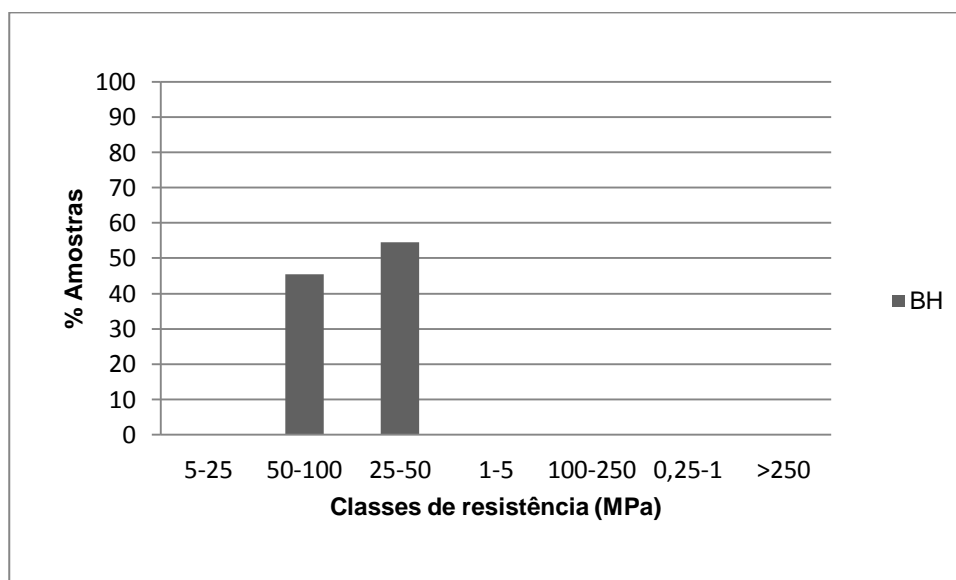


Figura 5.13 - % Amostras vs classes de resistência (MPa) – Brechas hialoclastíticas (BH).

Os resultados de compressão simples obtidos por PLT (tabela 5.17) revelam que as *pillow*-lavas (rolos) e os filões são materiais rochosos que de acordo com a aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de Broch & Franklin (1972), apresentam índice muito elevado de resistência (3-10 MPa); segundo a classificação de Bieniawski (1974), a resistência do material rochoso é muito elevada.

Tabela 5.17 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por *Point Load*.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Tensão (MPa) Valor Máximo	Tensão (MPa) Valor Médio
Ribeira do Palmarejo Pequeno	<i>Pillow</i> -lavas (rolos)	P4	8,0	6,5
Chã de Areia	Filão	P1	4,8	3,9

Na tabela 5.18, são materializados os resultados gerais obtidos pelos ensaios de compressão simples, de carga pontual e por UCS, onde se constata que as *pillow*-lavas (rolos) apresentam maior resistência que o filão amostrado, tal como se pode observar pelas características de ambos, *in situ*.

Tabela 5.18 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (*Martelo de Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS – Brechas hialoclastíticas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	σ_c (Mpa)	Is (MPa) Valor Médio	UCS (MPa)
Ribeira do Palmarejo Pequeno	<i>Pillow</i> -lavas (rolos)	P4	38±15	6,5	155,5
Chã de Areia	Filão	P1	67±25	3,9	94,1

5.1.8 Depósitos conglomeráticos estratificados

Os depósitos conglomeráticos estratificados são representados por duas amostras de areias argilo-siltosas com cascalho (SC-SM), em que os finos (16% do peso da representação volumétrica) são não plásticos ainda que expansivos com valores médios (15-17%); o teor de humidade *in situ* varia entre 4,5-4,9% e o peso específico é moderado a elevado (2,5-2,7 g/cm³; tabela 5.19).

Segundo a classificação Casagrande de Plasticidade, os finos são classificados como argilas magras (CL – argilas com baixa compressibilidade). As amostras pertencem ao grupo dos solos siltosos não plásticos (A-4). As curvas granulométricas (figura 5.14) traduzem solos bem graduados com granulometria extensa, uniforme e contínua, o que está em concordância com as características *in situ*; é uma unidade complexa e heterogénea granulometricamente, uma vez que inclui intercalações arenosas e conglomeráticas.

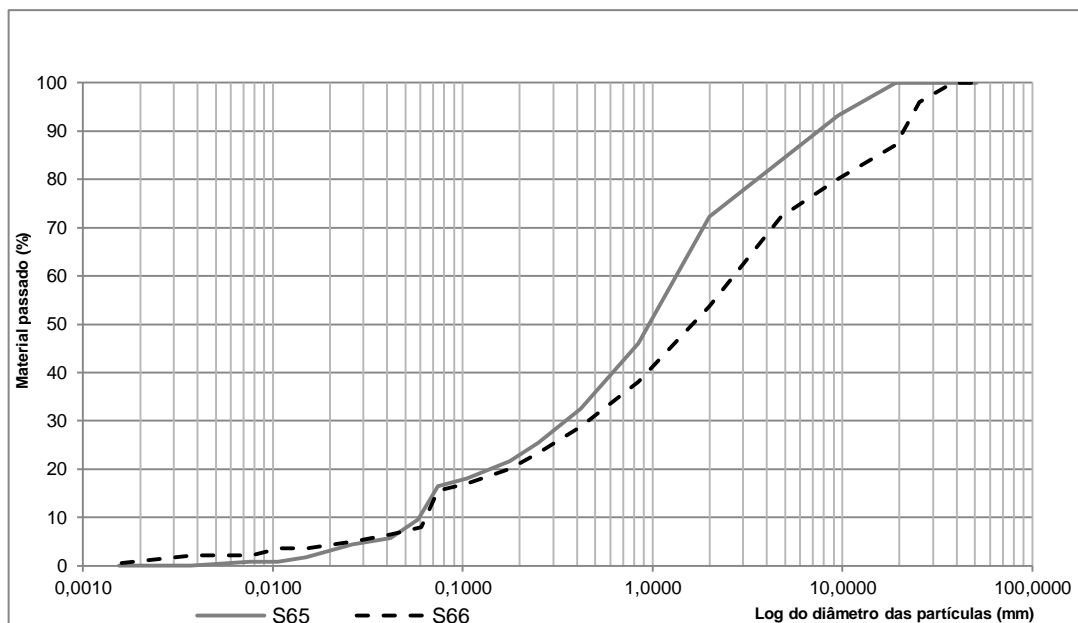


Figura 5.14 - Curvas granulométricas -Depósitos conglomeráticos estratificados.

Segundo a classificação textural, trata-se de amostras com percentagem de areia entre 57-67%; silte entre 5-16% e argila residual; a amostra S66 corresponde a uma areia e a S65 a uma areia - areia siltosa.

A mineralogia da fracção argilosa expressa na tabela 5.20 ou é representada por esmectite ou pela associação esmectite+ilite+caulinite, sendo em ambas as amostras a esmectite dominante. Os valores da superfície específica são baixos, o que é explicado pela baixa proporção de argila nas amostras com comportamento não plástico mas moderadamente expansivo.

Tabela 5.19 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos conglomeráticos estratificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado #10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade	Classificação ASTM (D 2487-85)	
													Símbolo do grupo	Nome do grupo
Norte do Monte Saco	Topo	S65	4,9	72,3	32,5	16,5	0,0	NP	NP	NP	2,5	15,0	SC-SM	Areia argilo-siltosa com cascalho
	Base	S66	4,5	43,8	18,8	15,5	0,6	NP	NP	NP	2,7	17,0	SC-SM	Areia argilo-siltosa com cascalho

Os resultados obtidos com o martelo de *Schmidt* (tabela 5.21) permitem concluir que trata-se de uma unidade com baixa resistência, em que os valores se situam entre 34±10 e 38±15 MPa. Não foi possível realizar os ensaios de carga pontual devido às características

in situ, uma vez que o grau de alteração dos materiais em afloramento varia entre W3,4 (moderado a muito alterado), apresentando-se pouco compactos à percussão; o mesmo se verifica para os filões.

Tabela 5.20 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Depósitos conglomeráticos estratificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	pH	% <0,030 mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria de Raios-x	Quantificação das Argilas
Norte do Monte Saco	Topo	G65	8,4	0,0	4,8	Esm	D
	Base	G66	9,0	2,1	2,3	Esm +I+K	D (98%) +Rs+Rs

Esm. – Esmeclite; I- Ilite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs- Residual

Tabela 5.21 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Depósitos conglomeráticos estratificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de Schmidt (R)	Resultados de σ_c (Mpa)
Norte de Monte Saco	Topo	L54	0º	12	22	34±10
	Base	L55	0º	12	22	38±15

5.1.9 Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos

Os resultados da caracterização geotécnica desta unidade estão associados com as características *in situ*, que se reflectem na alteração superficial e na resposta à percussão, resultantes da natureza lítica e da estrutura, da espessura média dos estratos e do espaçamento entre planos de diaclasamento (tabela 5.22). Os conglomerados são medianamente compactos, exibindo um grau de alteração W2 (pouco alterado), enquanto os calcários, se apresentam medianamente compactos à percussão e são ou frescos.

Tabela 5.22 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos.

Tipos litológicos	Local da Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de Schmidt (R)	Resultados de σ_c (Mpa)
Conglomerados	Ribeira do Palmarejo Pequeno	Maciço	L9	0º	32	35	47±19
Calcários	Quebra - Canela	Maciço	L15	0º	30	34	42±16

Os resultados obtidos através da compressão simples por *Point Load* são 4,0 MPa de resistência máxima e 2,96 MPa de resistência média (amostra P5).

Realizou-se a comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (*Point Load Test*) e pela correlação de UCS que são 42 ± 16 , 3,0, 32,6 MPa, respectivamente. A aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) para os calcários com bioclastos é elevada a média-elevada; por sua vez a classificação de Bieniawski (1974), para a resistência do material rochoso, indica que se trata de materiais com resistência média.

5.1.10 Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular

Apesar da forte compartimentação condicionada pela estrutura ou disjunção tubular (tubos) com secções hexagonais ou pentagonais pequenas (pequena blocometria) e com descontinuidades; apresentam um estado fresco, conservado ou são, da classe W1 em que os maciços são muito compactos à percussão com o martelo. Estas características *in situ* conferem-lhes uma resistência elevada, conforme se pode observar na tabela 5.23, que apresenta valores elevados de resistência entre os 80 ± 35 e 88 ± 40 MPa.

Tabela 5.23 - Resultados dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular.

Local da Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
SE do Monte ilhéu	Maciço	L78	0°	27	32	80 ± 35
Ribeira de Palmarejo Grande	Maciço	L82	+90°	26	36	88 ± 40

Através do ensaio de carga pontual, para a amostra P22 (SE do Monte Ilhéu), avaliou-se a resistência em MPa, tendo-se obtido resistência máxima de 11,3 e a resistência média, de 8,1 MPa. Os resultados gerais obtidos pelos ensaios de compressão simples, de carga pontual e por UCS, são 80 ± 35 MPa, 8,1 Mpa e 193,9 MPa, respectivamente.

Segundo a aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972), trata-se de uma unidade com resistência muito elevada (3-10 MPa) e, de acordo com a classificação de Bieniawski (1974), a resistência também é muito elevada (>8 MPa).

5.1.11 Brechas hialoclastíticas litificadas

As características da unidade que revela um baixo grau de alteração (W1,2) mostram que se apresenta muito a medianamente compacto à percussão ao martelo, revelando um comportamento na dependência da sua natureza e estrutura.

As brechas hialoclastíticas litificadas apresentam-se do ponto de vista granulométrico como areias mal graduadas com argila e cascalho (SP-SC) e areia argilo-siltosa com cascalho (SC-SM), em que a fracção fina representa uma percentagem em peso entre 11% e 17%, com comportamento não plástico (tabela 5.24); o teor de humidade *in situ* situa-se entre 9,6-14,4% e o peso específico é de 3,0 g/cm³ (muito elevado), com baixa expansibilidade (7,1-10,1%). De acordo com a classificação de Casagrande da Plasticidade, estes materiais finos podem ser classificados na classe CL, ou seja argilas magras com baixa compressibilidade. São designados por solos siltosos não plásticos, pela classificação de AASTHO, correspondendo à classe A-4.

Analisando a figura 5.15, conclui-se que as amostras apresentam curvas respeitantes a solos bem graduados com distribuição contínua, não uniforme, embora com menor representação das fracções mais finas. Segundo a classificação textural, a amostra S47 é uma areia e a S44 uma areia siltosa.

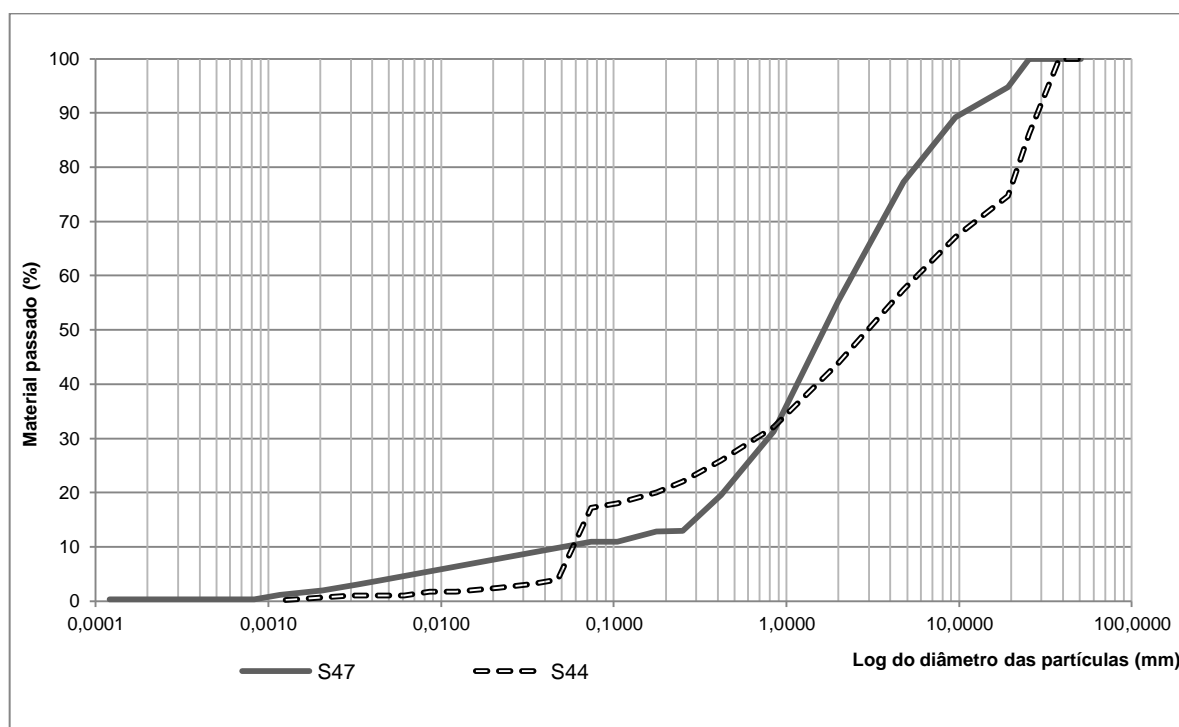


Figura 5.15 - Curvas granulométricas – Brechas hialoclastíticas litificadas.

Tabela 5.24 - Resultados geotécnicos para as amostras de Brechas hialoclastíticas litificadas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM 8%	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM 2487-85	
													Símbolo do Grupo	Nome do grupo
Prainha	Topo	S47	9,6	55,3	19,6	10,9	0,3	NP	NP	NP	3,0	10,1	SM	Areia siltosa com cascalho
	Base	S44	14,6	43,9	25,9	17,2	0,2	NP	NP	NP	3,0	7,1	SM	Areia siltosa com cascalho

O pH das amostras varia entre 7,8-8,5 ou seja trata-se de um material alcalino; verificou-se a associação mineralógica da fracção argilosa, para as brechas hialoclastíticas litificadas em que ocorre esmectite e esmectite+caulinite, sendo em ambos os casos a esmectite dominante. Os valores da superfície específica são moderados, com uma sensibilidade baixa na presença da água, do tipo siltoso (tabela 5.25). Por sua vez o coeficiente de argilosidade é baixo (0,1-0,15%), o que se pode explicar pela existência de baixas percentagens de argila (0,2-0,3%) nas amostras ensaiadas.

Tabela 5.25 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Brechas hialoclastíticas litificadas.

Local de Amostragem	Amostra	Nº Ensaio	pH	% <0,030 mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria de Raios-x	Quantificação das Argilas
Prainha	Topo	G47	8,4	0,3	6,1	Esm.	D.
	Base	G44	7,8	1,0	8,1	Esm. + K	D (70%) + (+)(30%)

Esm. – Esmectite; I- Ilite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs- Residual

Com base na tabela 5.26, as brechas hialoclastíticas litificadas apresentam variação em termos de valores de resistência situados entre os 40±15 MPa até 120±50MPa, quando aplicado o martelo de *Schmidt* nos materiais rochosos.

Tabela 5.26 - Resultados obtidos com o martelo de *Schmidt* - Brechas hialoclastíticas litificadas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Prainha	Filão	L3	0°	27	32	75±30
	Topo	L1	0°	10	20	42±15
	Base	L2	0°	10	20	40±15
Cova Figueira	Maciço	L76	-90°	23	26	50±20
Oeste de Cova Figueira	Filão	L26	0°	22	28	60±20
	Maciço	L25	+45°	31	37	120±50
Cova Minhoto	Filão	L81	0°	23	30	68±25
	Maciço	L20	+90°	21	33	100±45

Realizaram-se ensaios de compressão simples por carga pontual, em amostras de filão e *pillow*-lavas (rolos); na Cova Minhoto, e dadas as condições *in situ*, não foi possível obter amostras do filão, uma vez que este fracturou-se após várias tentativas de obtenção de provetes. Apresentam-se na tabela 5.27 os resultados de compressão simples, em que se observa que os filões apresentam uma resistência que pode variar entre 4,8-10,3 MPa e as *pillow*-lavas apresentam 9,65 MPa.

Tabela 5.27 - Resultados de compressão simples obtidos por carga pontual (PLT) para as Brechas hialoclastíticas litificadas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Tensão (MPa) Valor Máximo	Tensão (MPa) Valor Médio
Prainha	Filão	P2	5,6	4,8
Oeste de Cova Figueira	Filão	P24	11,5	10,3
Cova Figueira	<i>Pillow</i> -lavas (rolos)	P20	10,5	9,7

Na tabela 5.28 são materializados os resultados gerais obtidos pelos ensaios de compressão simples, de carga pontual e a correlação UCS, em que da análise realizada, se conclui que os valores obtidos por compressão simples (martelo de *Schmidt*) não existe uma grande diferença entre as amostras da Prainha e as amostras de Oeste de Cova Figueira e de Cova Figueira, contudo existe uma diferença nos resultados obtidos por carga pontual e UCS. O valor de carga (KN) que permitiu a rotura da amostra do Filão da Prainha foi

significativamente menor (120KN) que a carga de rotura aplicada (638KN e 677KN) nos filões dos locais de amostragem de Oeste de Cova Figueira e de Cova Figueira.

Tabela 5.28 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS – Brechas hialoclastíticas.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	σ_c (MPa)	Is (MPa) Valor Médio	UCS (MPa)
Prairha	Filão	P2	75±30	4,8	115,2
Oeste de Cova Figueira	Filão	P24	60±22	10,3	247,2
Cova Figueira	Rolos	P20	50±20	9,7	231,6

Aplicando a classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972), conclui-se que esta unidade apresenta uma resistência muito elevada (3-10 MPa). Segundo a classificação de Bieniawski (1974), indica que os materiais têm uma resistência eleva a muito elevada (4,8- 10,3 MPa).

5.1.12 Basaltos maciços em rolos

Os resultados obtidos com o martelo de *Schmidt* permitem concluir que se trata de uma unidade com resistência elevada (50-100 MPa), tendo em consideração a classificação da ISRM (1985); os valores são em média de 75±30 MPa, para uma horizontalidade do martelo a 0°, em que a leitura directa foi de 36 e o valor médio de dureza de *Schmidt* (R), de 37. Não foi possível realizar os ensaios de carga pontual devido às características *in situ*, na dependência da sua estrutura e alteração, uma vez que o grau de alteração dos materiais em afloramento varia entre W3,4 (moderado a muito alterado), apresentando-se pouco compactos à percussão. A estrutura em rolos prismáticos, exibindo formas poligonais perfeitas de moderada espessura (20-60 cm), com espaçamento das descontinuidades inferior a 6 cm e com abertura considerável de 0,5-0,8 cm, condicionou a realização do ensaio.

5.1.13 Basaltos maciços em rolos com carbonatos

Os resultados obtidos com o martelo de *Schmidt* permitem concluir que se trata de uma unidade com resistência elevada (50-100 MPa), tendo em consideração a classificação da ISRM (1985); os valores são em média de 88±40 MPa, para uma horizontalidade do martelo a 0°, em que a leitura directa foi de 36, e o valor médio de Ressonância (R) de 37. Não foi possível realizar os ensaios de carga pontual devido às características *in situ*, na dependência da sua estrutura.

5.1.14 Basaltos vesiculares em rolos

A espessura dos rolos ou blocos moderada situando-se nas classes L3,4, o espaçamento das descontinuidades, com valores reduzidos (E4) e a reduzida percentagem de hialoclastitos, conferem-lhe uma resistência elevada, que são patentes nos resultados obtidos por índice de dureza de *Schmidt* (tabela 5.29).

Tabela 5.29 - Resultados obtidos com o martelo de *Schmidt* para os Basaltos vesiculares em rolos.

Local da Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (Mpa)
Oeste de Cova Figueira	Maciço	L24	0º	28	33	92±40
Cova Minhoto	Maciço	L19	+90º	40	43	130±55

Os resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT são de 10,8 MPa para a resistência máxima, de 9,6 MPa para a resistência média, (amostra P9; Oeste de Cova Figueira). A comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS, são respectivamente, de 92±40, 9,6 e 230,4 MPa.

A aplicação das classificações da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) e de Bieniawski (1974) indica que os materiais são de resistência muito elevada.

5.1.15 Basaltos maciços

Os resultados do ensaio do índice de *Schmidt* para esta unidade, a partir do ponto de amostragem (L33), em que a horizontalidade do martelo é 0º, indicam leitura directa no martelo de 45; o valor médio do Ressonância (R) 42, e resistência de 130±55 MPa; estes resultados apresentam-se em conformidade com as características *in situ*, uma vez que os materiais se apresentam em afloramentos maciços muito fracturados com blocos de forma angulosa a sub-angulosa. Os resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT (P11) são para a resistência máxima de 13,6 MPa e para a média de 11,3 MPa. Quando testada a resistência com a percussão ao martelo, os basaltos maciços revelam situarem-se na classe mais elevada, ou seja, são muito compactos e o estado é são ou fresco (W1). Os Basaltos maciços na ilha de Tenerife, Canárias ultrapassam os 80 MPa de resistência (Vallejo *et al.* 2006, 2008).

Comparam-se igualmente aos intervalos de resistência para os basaltos designados por maciços (compactos) da ilha da Madeira (Portugal), por apresentarem elevada densidade, serem muito compactos e resistentes, originando formações com boas características mecânicas (Gonçalves, 2009), em que a tensão de ruptura σ_c varia entre 40-300 MPa.

De acordo com as classificações da resistência à compressão pontual de Broch & Franklin (1972) e de Bieniawski (1974), os materiais segundo estas classificações são de muito elevada resistência.

5.1.16 Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli

Os Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli apresentam valores médios de resistência na ordem dos 120 ± 50 a 160 ± 70 MPa (tabela 5.30), para uma energia média de ressalto (R) de 40-45,5 com uma leitura do martelo de 34-45.

Tabela 5.30 - Resultados obtidos com o martelo de *Schmidt* - Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Chão de Lemão	Perfil A	L70	+90°	45	46	160±70
	Perfil B	L71	+90°	34	40	120±50

Na tabela 5.31, pode se observar de que os valores de tensão máxima e média por carga pontual são 6,0-7,2 e 5,3-5,8 MPa, respectivamente para as duas amostras recolhidas. Estes valores podem ser explicados pelas características *in situ*, nomeadamente a fracturação dos afloramentos, o qual compartimenta o maciço em blocos de forma irregular, não obstante os materiais se apresentarem sãos e muito compactos à percussão.

Tabela 5.31 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT - Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte de Amostra	Nº Ensaio	Tensão (MPa) Valor Máximo	Tensão (MPa) Valor Médio
Chão de Lemão Perfil A	Maciço	P16	7,2	5,8
Chão de Lemão Perfil B	Maciço	P17	6,0	5,3

Com aplicação da classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) os materiais são de resistência muito elevada, e segundo Bieniawski (1974), de resistência elevada.

5.1.17 Basaltos vesiculares inferiores

Os afloramentos com estes materiais apresentam disjunção esferoidal em bolas, em blocos irregulares dispersos, ou dispostos em camadas estratificadas, exibindo porosidade vesicular/vacuolar ou mesmo amigdalóide pontualmente. Dadas as características *in situ* foi

possível realizar ensaios do índice de *Schmidt*, os quais estão organizados na tabela 5.32. Os afloramentos apresentam valores de resistência que varia de 64±25 MPa a 120±50 MPa.

Esta heterogeneidade pode estar relacionada com o facto de se apresentarem à percussão medianamente compactos a pouco compactos e com grau de alteração entre pouco alterado (W2) a medianamente alterado (W3).

Em Tenerife, nas ilhas Canárias, os basaltos vacuolares ou vesiculares podem ter resistências inferiores a 40 MPa (Vallejo *et al.* 2006, 2008). Os valores mais baixos encontrados nas amostras foram de 30±10 MPa, sendo equivalentes aos valores encontrados pelos mesmos autores nos basaltos vesiculares de Tenerife (valores inferiores a 40 MPa).

Comparam-se igualmente aos intervalos de resistência para os basaltos designados por vacuolares compactos da ilha da Madeira (Portugal), por apresentarem elevada densidade, serem muito compactos e resistentes, originando formações com boas características mecânicas (Gonçalves, 2009), em que a tensão de ruptura σ_c é de 40-300 MPa, ou seja resistente a muito resistente.

Tabela 5.32 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Basaltos vesiculares inferiores.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Achada Furada	Maciço	L21	0º	27	32	64±25
Ponta Preta	Maciço	L36	0º	41	40	120±50

Os resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT (P7, P26) são de 5,2-7,2 para a tensão máxima e de 4,3-6,0 Mpa para a tensão média (tabela 5.33).

Tabela 5.33 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios por PLT para os Basaltos vesiculares inferiores.

Local de Amostragem	Nº Ensaio	Tensão (MPa) Valor Máximo	Tensão (MPa) Valor Médio
Achada Furada	P7	7,2	6,0
Ponta Preta	P26	5,2	4,3

Realizou-se a comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS, que se apresenta na tabela 5.34. Os valores de resistência estão estimados entre 103,7 a 144,0 MPa (UCS).

Tabela 5.34 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (*Point Load*) e por UCS. Basaltos vesiculares inferiores.

Local de Amostragem	Amostra	Nº Ensaio	σ_c (Mpa)	Is (MPa) Valor Médio	UCS (Mpa)
Achada Furada	Maciço	P7	64±25	6,0	144,0
Ponta Preta	Maciço	P11	120±50	4,3	103,7

Os materiais segundo as classificações de resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) são de resistência muito elevada e segundo Bieniawski (1974), de resistência elevada.

5.1.18 Basaltos com disjunção colunar

Estes materiais apresentam-se medianamente compactos a muito compactos à percussão e predominantemente frescos ou são (W1), com um grau de alteração (W2) na superfície do topo dos afloramentos, onde foi possível a recolha de amostras para os ensaios geotécnicos (tabela 5.35).

Os materiais mais superficiais são granulometricamente areias siltosas com cascalho (SM), apresentando teor de humidade *in situ* muito baixo ou nulo e 13,9% de finos não plásticos. Os ensaios de expansibilidade exibem um valor médio de variação de volume de 12,3%, tendo os materiais um peso específico muito elevado (2,94 g/cm³).

Segundo a classificação de Casagrande, estes materiais dão origem a um solo ML, ou seja os finos são siltes, e conforme a AASTHO, pertencem ao tipo A-4, o que corresponde a finos do tipo siltoso. Tendo em conta a percentagem de material argiloso obtêm-se uma superfície específica (Sa) baixa, de 1,8 m²/g. Por difractometria de raios-X, o mineral argiloso é a esmectite em proporções muito residuais, revelando uma insensibilidade com a água, o que está de acordo com os dados do coeficiente de argilosidade nula e da superfície específica (Sa).

A densidade seca para aos materiais vulcânicos (basaltos com disjunção colunar), oscilam entre 15-31KN/m³, com valores mais frequentes entre 23-28 KN/m³. Analisando a tabela 5.36, conclui-se que os valores de resistência se situam entre os 72±25 MPa e os 160±70 MPa. Estes valores são análogos aos encontrados nas séries basálticas da ilha de Tenerife (Canárias, Espanha; Vallejo *et al.*(2006, 2008). Segundo estes autores, os basaltos com disjunção colunar com uma densidade = 26 KN/m³, apresentam valores de resistência de 150-180 MPa.

Tabela 5.35 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos com disjunção colunar.

Local da Amostragem	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 (%) ASTM	Passado # 40 (%) ASTM	Passado # 200 (%) ASTM	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM (D 2487-85)	
												Símbolo do grupo	Nome do grupo
Achada Baixo	S53	1,0	22,9	16,9	13,9	0	NP	NP	NP	2,94	12,3	SM	Areias siltosas com cascalho

A curva granulométrica elaborada a partir dos dados, traduz uma mistura de areias e siltes bem graduadas. Ainda segundo a classificação textural, trata-se de uma areia siltosa, com 73% de areia, 26% de silte e 1% de argila. A caracterização laboratorial mostrou ainda um valor do pH de 8,5.

Tabela 5.36 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Basaltos com disjunção colunar.

Local de Amostragem	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Achada Baixo	L18	0º	47	43	125±50
Ribeira do Palmarejo Pequeno	L7	0	40	43	140±60
Oeste Cova Figueira	L23	0º	37	38	98±40
Planalto - Quartel Escola da Policia	L65	0º	25	31	72±25
Ponta Preta	L37	0º	52	46	160±70

Realizaram-se ensaios de compressão simples por carga pontual (PLT), sendo os resultados apresentados na tabela 5.37. A resistência média verificada situa-se entre os valores de 3,0-10,7 Mpa e a tensão máxima entre 6,2-12,0 MPa. Esta heterogeneidade verificada foi também comprovada, nas ilhas Canárias (Espanha), conforme referido anteriormente.

Tabela 5.37 - Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por PLT - Escoadas basálticas com disjunção colunar.

Local de Amostragem	Nº Ensaio	Tensão (MPa) Valor Máximo	Tensão (MPa) Valor Médio
Achada Baixo	P6	6,2	6,0
Ribeira Palmarejo Pequeno	P3	12,0	10,8
Planalto - Quartel Escola da Policia	P15	3,6	3,0
Ponta Preta	P12	11,6	10,7
Oeste Cova Figueira	P8	6,4	6,2

A tabela 5.38 apresenta a comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (*Point Load*) e por UCS, bem como os valores resultante da aplicação da fórmula $UCS = Is \times 24$.

Tabela 5.38 - Comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS – Basaltos com disjunção colunar.

Local de amostragem	Nº Ensaio	σ_c (MPa)	Is (MPa) Valor Médio	UCS (MPa)
Achada Baixo	P6	125±50	6,0	145,0
Ribeira Palmarejo Pequeno	P3	140±60	10,8	261,1
Quartel Escola da Policia	P15	72±25	3,0	73,0
Ponta Preta	P12	160±70	10,7	256,3
Oeste Cova Figueira	P8	98±40	6,2	124,8

Recorreu-se à classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) sendo os materiais de acordo com estas classificações de resistência muito elevada e de acordo com Bieniawski (1974) de resistência média a muito elevada.

5.1.19 Basaltos com disjunção esferoidal

De acordo com a análise granulométrica (tabela 5.39) estes materiais, apresentam uma percentagem muito baixa de teor de humidade *in situ* (0,5%) e de finos (2,8%), com características não plásticas (NP), e exibem baixa expansibilidade (3,5%) e peso específico muito elevado (3,1 g/cm³). Segundo a classificação de Casagrande de Plasticidade trata-se de solos do tipo ML, ou seja os finos são siltes com baixa compressibilidade; tendo em conta a inexistência de fracção fina, a superfície específica (Sa) é baixa, ou seja 1,0. Por difractometria de RX, o mineral argiloso observado é a esmectite mas em proporções muito

residuais, revelando uma insensibilidade à água, de acordo com os dados de coeficiente de argilosidade (em que os resultados são nulos). Conforme a proposta de classificação de AASTHO, enquadra-se no grupo A-4, o que correspondem a solos siltosos.

Tabela 5.39 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos com disjunção esferoidal.

Local de Amostragem	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM D 2487-85)	
												Símbolo do grupo	Nome do grupo
Achada Furada	S10	0,5	37,1	9,8	2,8	0,0	NP	NP	NP	3,1	3,5	SW	Areia bem graduada com cascalho

A curva granulométrica da amostra S10 mostra um solo bem graduado com granulometria extensa e contínua, com materiais bem graduados, representando uma areia, segundo a classificação textural, em que a 96% de areia, 3 %de silte e 1% de argila. A partir da caracterização laboratorial, verifica-se que o valor do pH é de 8,32 ou seja alcalino.

Os valores estimados da resistência para os Basaltos com disjunção esferoidal (L22) apresentam resultados semelhantes aos dos materiais rochosos nas ilhas Canárias, na ordem de 90±40 MPa, para uma aplicação da horizontalidade do martelo a 0° em que a leitura directa no martelo foi de 30, e o valor médio de R de 34. Dadas as características *in situ* e do grau de alteração não foi possível obter amostras para o ensaio de *Point Load Test*.

Segundo os autores Vallejo *et al.* (2006, 2008), a densidade seca para aos materiais vulcânicos (basaltos com disjunção esferoidal), oscilam também entre 15-31 KN/m³, com valores mais frequentes entre 23-28 KN/m³. A influência da composição e dos elementos voláteis na densidade relaciona-se com a resistência à compressão simples, com um amplo intervalo de valores compreendidos entre 25-160 MPa, mas em que o intervalo mais frequente é o de 40-80 MPa. O mesmo ocorre para os basaltos com disjunção esferoidal, que apresentam valores semelhantes aos das ilhas Canárias (com densidade de 26 KN/m³ e tensão de rotura, σ_c de 85 MPa).

5.1.20 Basaltos vesiculares intermédios

Nesta unidade realizaram-se ensaios da mecânica das rochas, tendo-se obtido através do martelo de *Schmidt* na amostra L76, para uma aplicação da horizontalidade do martelo a 0°, uma leitura directa no martelo de 21, com o valor médio de R de 28, resultados médios de σ_c são 55±20 MPa. Estes valores são considerados médios em termos de resistência segundo a ISRM (1985), o que se explica dado os materiais desta unidade se apresentarem medianamente compactos a pouco compactos, com grau de alteração a variar entre o pouco alterado (W2) e o moderadamente alterado (W3).

Os resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por PLT na amostra P23 indicam que a tensão média é de 4,4 MPa e a máxima de 7,1 MPa. Realizando a comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS, estes são de 55 ± 20 , 4,4 e 106,5 MPa, respectivamente.

Recorrendo à classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) e Bieniawski (1974) os materiais são de elevada resistência. Os valores de resistência situam-se nos intervalos de resistência observados em basaltos da ilha da Madeira (40-300 MPa) (Gonçalves, 2009).

5.1.21 Basaltos olivínicos

As condições de estado *in situ*, permitiram recolher amostras e efectuar a análise granulométrica (tabela 5.40). Os materiais recolhidos são classificados como areias siltosas com cascalho (SM), em que os finos (6,9%) são plásticos ($IP=18\%$) de média expansibilidade (15,4%) e o peso específico muito elevado ($2,8 \text{ g/cm}^3$). Os finos pertencem ao grupo MH, e são siltes com elevada compressibilidade. Segundo a classificação de AASTHO, trata-se de um solo com finos argilosos (A-7-5).

Tabela 5.40 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos olivínicos.

Local de Amostragem	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm^3)	Expansibilidade (%)	Classificação (D 2487-85)	
												Símbolo do grupo	Nome do grupo
Achada São Felipe Leste	S42	8,3	20,3	11,0	6,9	1,8	63,0	45,0	18,0	2,8	15,4	SM	Areia siltosa com cascalho

A curva granulométrica diz respeito um solo bem graduado com siltes e cascalhos, e segundo a classificação textural a amostra S42, trata-se de uma areia com 83% de areia, 13% de silte e 4 % de argila.

A partir das amostras G42 e G64, em que os resultados estão expostos na tabela 5.41, verifica-se que o pH varia no intervalo de 7,7-8,0. Para a % de finos $<0,030 \text{ mm}$ a superfície específica é de $2,0\text{-}2,4 \text{ m}^2/\text{g}$ e a fracção argilosa está representada pela esmectite em ambos os casos dominante. Apresentam uma baixa sensibilidade com a água, do tipo siltoso (tabela 5.38). Através dos cálculos obtidos para os coeficientes de argilosidade e actividade coloidal que são de 3,6% e 6,0%, respectivamente, trata-se de uma amostra muito activa, com média expansibilidade.

Tabela 5.41 - Caracterização laboratorial para as amostras dos Basaltos olivínicos.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Amostra	pH	% <0,030 mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria Raios-X	Quantificação das Argilas
São Felipe Leste	Topo	G42	8,0	2,4	13,8	Esm.	D.
	Base	G64	7,7	2,0	13,8	Esm. + k	D + Rs

Esm. – Esmeclite; I- Ilite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs- Residual

Os ensaios sistemáticos dos materiais com o esclerómetro de *Schmidt* nos basaltos olivínicos, são apresentados na tabela 5.42. Determinou-se os intervalos de ressalto (R), em dois afloramentos, observando-se uma homogeneidade dos valores de resistência de 55 ± 20 MPa. Estes resultados estão intimamente relacionados com o carácter alternante entre materiais com diferentes competências, e com a pouca ou moderada expressão da espessura dos estratos.

Tabela 5.42 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Basaltos olivínicos.

Unidade litológica	Zona	Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (Mpa)
Basaltos olivínicos	São Felipe Leste	Topo	L56	0º	21	29	55 ± 20
		Base	L57	0º	20	28	55 ± 20
	Estrada do Hospital da Trindade	Maciço	L43	0º	21	29	55 ± 20

Os resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por PLT (P13) indicam que a resistência média é de 5,9 MPa e a máxima de 6,8 MPa. Realizando a comparação dos resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS, estes são de 55 ± 20 , 5,9 e 142,1 MPa, respectivamente.

A classificação da resistência à compressão simples de acordo com Broch & Franklin (1972) e Bieniawski (1974) é elevada.

5.1.22 Basaltos amigdalóides

As características de estado *in situ* mostram materiais medianamente compactos a muito compactos; o estado de alteração é geralmente pouco a moderadamente alterado (W2,3).

A amostra S67 permitiu classificar uma das amostras recolhidas como areias siltosas (SC), em que a percentagem de finos (33%) é considerável, sendo estes muito plásticos (CL), com média expansibilidade (18,3%). Apresenta peso específico de $2,7 \text{ g/cm}^3$ e teor de humidade de 8,5%. Granulometricamente o material apresenta uma curva mal graduada com distribuição descontínua e em que o comportamento do solo é dominado pela fracção

fina. Segundo a classificação textural, a amostra S67 é do tipo areia siltosa, com 55,7 % de areia, 28, 8 de % silte e 4,1 % de argila.

O cortejo argiloso é definido pela esmectite+ilite, em que a % de finos <0,030mm é de 9,6; a superfície específica de 8,0 g/cm², que diz respeito à caulinite. O coeficiente de argilosidade é 0,9% e a actividade coloidal 1,0. O peso específico é elevado (2,7 g/cm³) e o teor de humidade *in situ* medido foi de 8,5%. Segundo a classificação de AASTHO, trata-se de um solo com finos argilosos (Grupo A-7-6).

Quando aplicado o martelo de *Schmidt* (L51) obteve-se valores de resistência de 93±40 MPa, a que correspondem valores de resistência moderada.

5.1.23 Basaltos vesiculares superiores

As amostras de solo recolhidas a partir desta unidade mostraram que granulometricamente são areias argilosas com cascalho (SC) e areias siltosas com cascalho (SM), exibindo uma percentagem de finos plásticos (18,7%) a não plásticos (NP), de baixa a média expansibilidade (6,1-17,4%), com peso específico baixo a muito elevado (2,3- 2,9 g/cm³), e o teor de humidade varia entre 8,7-9,1%. Uma análise de mais detalhe faz salientar que a amostra do topo contém finos do tipo CH (silte com elevada compressibilidade). Segundo a classificação AASTHO, trata-se de solos com finos argilosos (A-7-5), enquanto a amostra da base do afloramento tem finos do tipo silte (ML) correspondendo a um solo siltoso (A-4) (tabela 5.43).

Tabela 5.43 - Resultados geotécnicos para as amostras de Basaltos vesiculares superiores.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM (D 2487-85)	
													Símbolo do grupo	Nome do grupo
São Felipe Oeste	Topo	S56	9,1	35,1	24,3	16,6	3,4	55	36,3	18,7	2,9	17,4	SC	Areia argilosa com cascalho
	Base	S12	8,7	49,8	30,2	20,1	6,2	NP	NP	NP	2,3	6,1	SM	Areia siltosa com cascalho

De acordo com a análise das curvas granulométricas (figura 5.16), conclui-se que trata-se de materiais bem graduados com granulometria extensa e contínua.

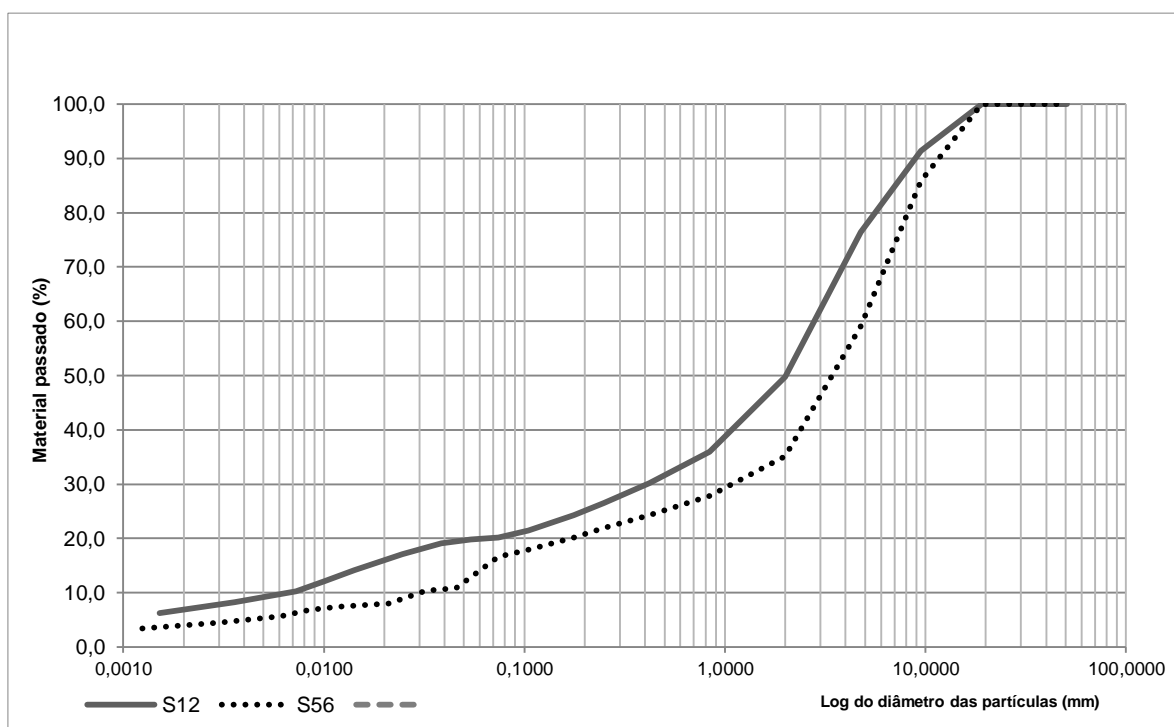


Figura 5.16 - Curva granulométrica – Basaltos vesiculares superiores.

Os Basaltos vesiculares superiores representados pelas amostras S56 e S12 são areias siltosas; a areia varia entre 72-97%, o silte varia entre 3-26% e a argila varia entre 0-8%, conforme se pode observar na figura 5.20.

A associação mineralógica (tabela 5.44) pertence ao grupo da esmectite (num caso é dominante) e num outro aparece esmectite (presente) + ilite (residual). A superfície específica é baixa, tratando-se de solos argilosos com minerais de caulinite e ilite, com pouca ou moderada sensibilidade à água. Os coeficientes de argilosidade e actividade coloidal apresentam resultados de 0,57-12,8% e 2,67%, respectivamente. Os materiais apresentam pH básico, 8,1.

Tabela 5.44 - Caracterização geoquímica – Basaltos vesiculares superiores.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Amostra	pH	% <0,030 mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria Raios-X	Quantificação das Argilas
São Felipe Oeste	Topo	G56	8,1	4,5	3,2	Esm.	D.
	Base	G12	8,1	8,2	52,6	Esm. + I	(+) + Rs

Esm. – Esmectite; I – Ilite; K – Caulinite; D – Dominante; Rs – Residual; (+) – Presente.

Quando aplicado o ensaio de martelo de *Schmidt*, com a horizontalidade do martelo a 0° e (-) 90°, a leitura directa média é de 10-32 e o valor médio do Ressalto (R), é de 20-35. Os resultados obtidos são de 30±10 a 88±40 MPa (tabela 5.45). Os basaltos vesiculares ou vacuolares de Tenerife, Canárias, podem ter resistências inferiores a 40 MPa (Vallejo *et al.* 2006, 2008), o que se assemelha aos valores encontrados na área de estudo, para os basaltos vesiculares superiores. Os intervalos de valores de resistência estão na dependência da natureza e estrutura dos materiais litológicos que se apresentam

medianamente compactos a pouco compactos; o estado de alteração é pouco a moderadamente alterado (W2,3) em especial à superfície.

Tabela 5.45 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Basaltos vesiculares superiores.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Estrada do hospital Trindade	Maciço	L42	0°	32	35	88±40
São Felipe Oeste	Topo	L58	0°	12	22	43±15
	Base	L59	0°	10	20	30±10
Circular N/Laranjo	Maciço	L83	-90°	29	30	63±22

Os Resultados de compressão simples obtidos através dos ensaios obtidos por *Point Load* (P25) são para a tensão máxima de 4,7 e a média de 4,3 MPa. Os resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS, são de 63±22 MPa, 4,3 MPa e 103,5 MPa, respectivamente. A classificação da resistência à compressão pontual de acordo com Broch & Franklin (1972) e Bieniawski (1974) indica que os materiais são de muito elevada e elevada resistência, respectivamente.

5.1.24 Depósitos de lapilli estratificados

Foram efectuadas duas análises granulométricas aos materiais dos Depósitos de lapilli estratificados apresentando-se os resultados na tabela 5.46. Os dados demonstraram que se trata de areias bem graduadas com siltes e cascalho (SW-SM), com finos (8,8-9,8%) não plásticos (NP), de baixa expansibilidade (5,5-7,4%); os materiais apresentam um peso específico moderado a muito elevado (2,9-3,0 g/cm³), variando o teor em água *in situ* entre 1,1-2,6%. Conforme a classificação de Casagrande, os finos são do tipo ML (silte) e pertencem ao grupo dos solos siltosos (A-4).

Observa-se na figura 5.17, que as curvas granulométricas das amostras S31 e S41 traduzem solos bem graduados, com granulometria extensa e contínua.

Quando aplicada a classificação textural as amostras S31 e S41 representam areias, com 86-88% de areia, 10-15% de silte e 1-6% de argila.

Tabela 5.46 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos de lapilli estratificados.

Local de Amostragem	Tipo de Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação ASTM (D 2487-85)	
													Símbolo do grupo	Nome do grupo
Monte Vermelho - Cidadela	Topo	S31	2,6	46,4	26,4	8,8	0,7	NP	NP	NP	3,0	5,5	SW-SM	Areia bem graduada com silte e cascalho
	Base	S41	1,1	53,8	31,7	9,8	0,0	NP	NP	NP	2,9	7,4	SW-SM	Areia bem graduada com silte e cascalho

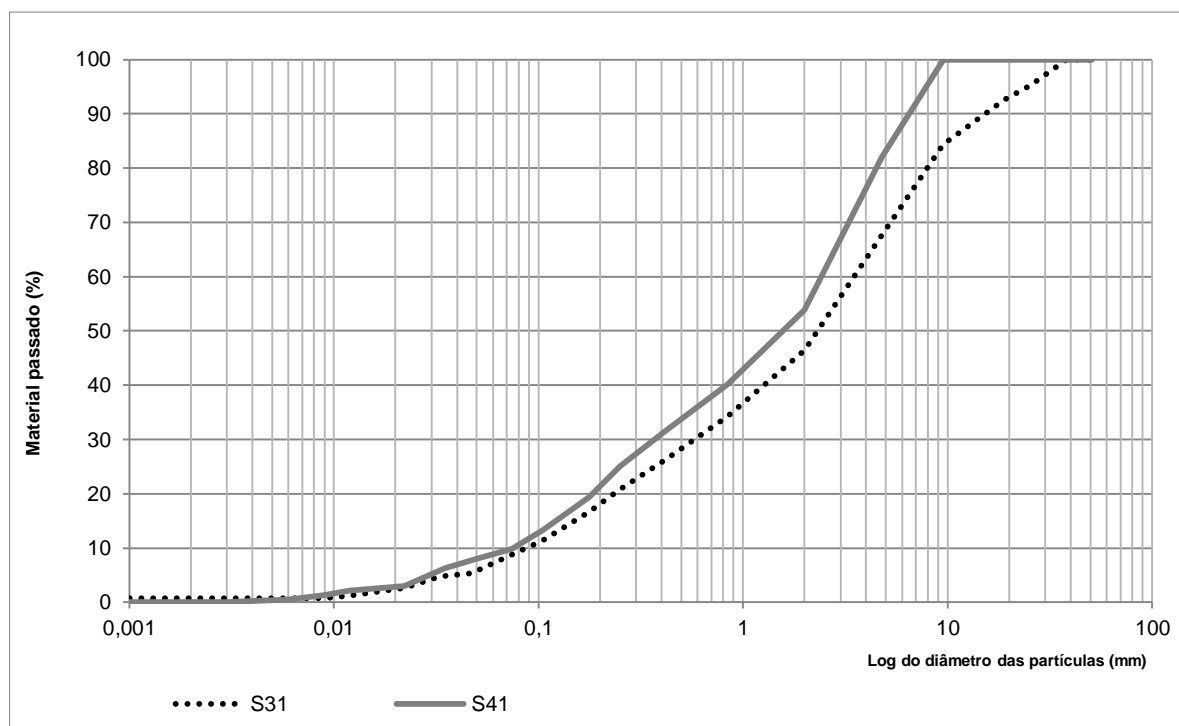


Figura 5.17 - Curvas granulométricas – Depósitos de lapilli estratificados.

A caracterização da fracção argilosa, a partir das amostras G31 e G41 (tabela 5.47), o pH varia de 8,3 a 8,4. A superfície específica (S_a) apresenta valores de $0,7 \text{ m}^2/\text{g}$ e a fracção argilosa está representada pela vermiculite (residual) e vermiculite +ilite+esmectite. O coeficiente de argilosidade é praticamente nulo, o que é explicado pela ausência ou proporção baixa de argilas nas amostras, tratando-se de materiais em que o comportamento não é determinado pelo comportamento da fracção fina argilosa.

Tabela 5.47 - Caracterização mineralógica-geoquímica – Depósitos de lapilli estratificados.

Unidade Lítica	Local de amostragem	Amostra	Nº Amostra	pH	% <0,030mm	Quantificação das Argilas por Azul Metileno	Argilas por Difracção de Raios-X	Quantificação das Argilas
Depósitos de lapilli estratificados	Monte Vermelho/Cidadela	Topo	G31	8,3	0,7	2,8	Verm.	Rs
		Base	G41	8,4	0,0	3,3	Esm. + V+ I	(+) + Rs + (+)

Esm. – Esmectite; I- Ilite; V- Vermiculite; Rs- Residual; (+) - Presente

Segundo os resultados de Vallejo *et al.* (2006, 2008) para a resistência dos materiais, os depósitos piroclásticos constituem um grupo de materiais particulares que apresentam um comportamento geomecânico diferente de uma rocha ou de um solo, devendo ser analisado como um grupo geotécnico independente. As suas propriedades dependem do tamanho do grão, forma, porosidade e composição mineralógica, assim como o grau de empacotamento entre as partículas, estado de compactação do depósito e resistência das partículas. Segundo estes autores, geralmente, as partículas apresentam peso específico entre $22,5$ e 25 KN/m^3 .

As propriedades dos piroclastos para as ilhas Canárias também foram definidas por outros autores (*e.g* Pastor, 1997; *in* Lomoschitz *et al.* 2003) em que estes apresentam uma resistência uniaxial de 5 MPa , comparativamente aos Depósitos de lapilli estratificados apresentam uma resistência média de $37,5 \pm 15$ a $40 \pm 15 \text{ MPa}$ para uma energia de Ressonância (R) de 10. Os resultados obtidos por ensaio de esclerómetro estão patentes na tabela 5.48.

A não realização do ensaio de *Point Load* resulta das características dos piroclastos que são muito porosos e encontram-se meteorizados ou desintegrados, de aspecto granular com níveis de materiais mais finos. Para além destas evidências de natureza e estrutura litológicas, desagregam-se facilmente à percussão, ou seja são friáveis a pouco compactos e o estado de alteração é W4 (muito alterado).

Tabela 5.48 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de Schmidt - Depósitos de lapilli estratificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de Schmidt (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Monte Vermelho	Topo	L27	0º	10	20	40 ± 15
	Base	L28	0º	10	20	38 ± 15

5.1.25 Depósitos de lapilli litificados

Os depósitos de lapilli litificados, representados pelas amostras S49, S25, são granulometricamente cascalhos bem graduados com silte (GW-GM), exibindo finos não plásticos (NP), de nula expansibilidade. Os materiais apresentam peso específico muito baixo ($1,4-1,8 \text{ g/cm}^3$) e o teor de humidade *in situ*, varia entre 3,3-4,0% (tabela 5.49); os finos são do tipo ML (siltes com baixa compressibilidade) e as amostras pertencem ao grupo A-2-4 (AASTHO), que diz respeito a areias e areias siltosas.

Tabela 5.49 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos de lapilli litificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm^3)	Expansibilidade (%)	Classificação (D 2487-85)	
													Símbolo do grupo	Nome do grupo
Monte Vermelho	Topo	S49	4,0	20,45	10,65	7,67	0,0	NP	NP	NP	1,4	0,0	GW-GM	Cascalho bem graduado com silte
	Base	S25	3,3	39,91	13,35	6,34	0,0	NP	NP	NP	1,8	0,0	GW-GM	Cascalho bem graduado com silte

As curvas granulométricas (figura 5.18) traduzem amostras bem graduadas constituídas por cascalhos e misturas de silte, com granulometria extensa e contínua, em que o comportamento do solo é dominado pela fracção grosseira. A classificação textural para as amostras, tendo em conta a % de areia = 82-84%; a % de silte = 15-17% e % de argila = 1%; trata-se assim de areias (figura 5.23).

A caracterização laboratorial (tabela 5.50), definida para as amostras G49 e G25, demonstra que o pH é básico, a variar entre 8,0 e 9,3. A superfície específica calculada a partir da adição de azul-de-metileno é de $1,4-5,6 \text{ m}^2/\text{g}$; o cortejo argiloso patente é residual, definido pelos minerais de esmectite e caulinite ou simplesmente esmectite, ambas com proporções residuais. Estes dados traduzem uma muito baixa sensibilidade dos materiais na presença da água, sendo o coeficiente de argilosidade nulo, o que indica que estes materiais têm comportamento estável na presença da água.

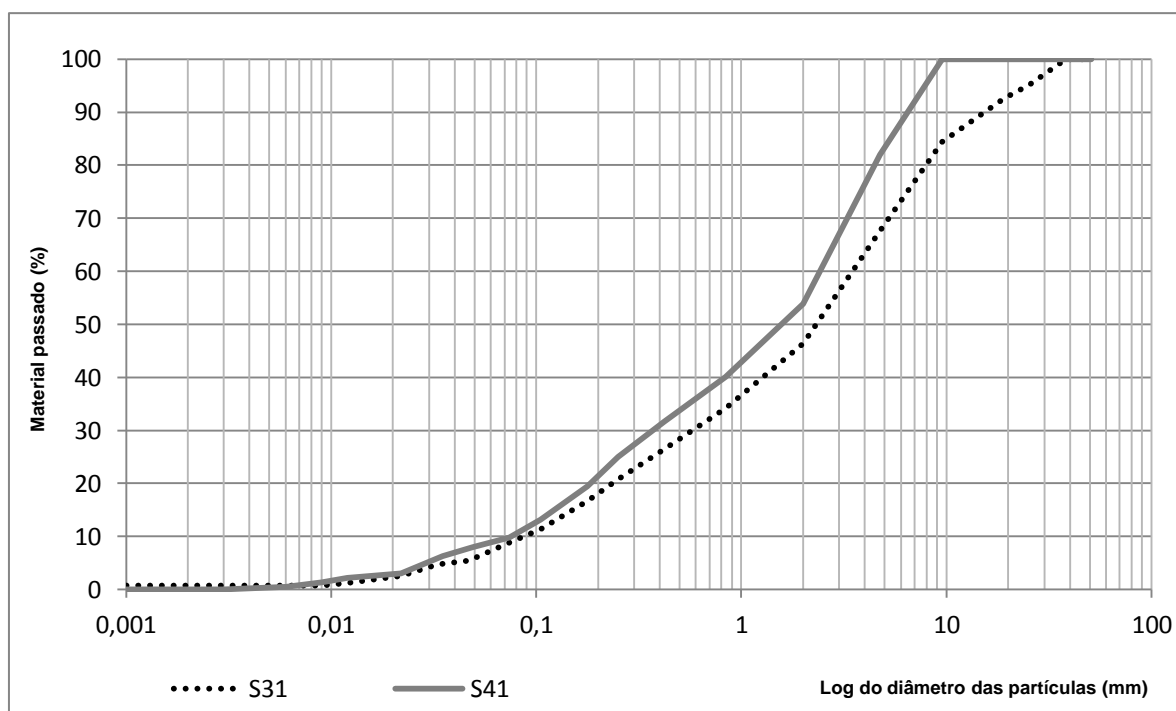


Figura 5.18 - Curvas granulométricas – Depósitos de lapilli litificados.

Tabela 5.50 - Caracterização geoquímica - Depósitos de lapilli litificados.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Amostra	pH	% <0,0579 mm	Quantificação das Argilas por Azul Metileno	Argilas por Difractometria de Raios-X	Quantificação das Argilas
Cidadela/Monte Vermelho	Topo	G49	9,3	0,1	5,6	Esm. + k	Rs + Rs
	Base	G25	8,0	0,1	1,4	Esm.	Rs

Esm. – Esmeectite; I- Ilite; K- Caulinite; Rs- Residual

Quando aplicado o ensaio de martelo de *Schmidt*, com a horizontalidade do martelo a 0º a leitura directa média é de 11 e a dureza de *Schmidt* (R), apresenta valores de 23, que traduzem resistência de 32±10 MPa (tabela 5.51). Estes valores podem ser explicados pelas condições dos afloramentos, que se desagregam facilmente à percussão, ou seja são friáveis a pouco compactos; o estado de alteração situa-se entre os níveis de moderadamente a muito alterado (W3,4).

Tabela 5.51 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Depósitos piroclásticos recentes.

Local de Amostragem	Tipo ou fonte da Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Monte Vermelho	Topo	L29	0º	11	23	32±10
	Base	L30	0º	11	23	32±10

5.1.26 Depósitos escoriáceos grosseiros

Os Depósitos escoriáceos grosseiros são granulometricamente cascalhos bem graduados (GW-GM), com baixa quantidade de finos ($\leq 0,4\%$) não plásticos (NP), de nula expansibilidade. Os materiais apresentam peso específico moderado ($2,3 \text{ g/cm}^3$) para uma das amostras, sendo o teor de humidade *in situ* muito baixo ($0,1-0,3\%$). Trata-se de solos cascalhentos do tipo A-1-a, ou seja cascalhos e areias (tabela 5.52).

Tabela 5.52 - Resultados geotécnicos para as amostras de Depósitos escoriáceos grosseiros.

Local de Amostragem	Tipo de Amostra	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm^3)	Expansibilidade (%)	Classificação (D 2487-85)	
													Símbolo do grupo	Nome do grupo
Monte Vermelho	Topo	S55	0,1	7,3	5,8	2,3	0,4	NP	NP	NP	2,3	0,0	GW-GM	Cascalhos bem graduados com silte
	Base	S59	0,3	5,0	2,4	0,2	0,0	NP	NP	NP		0,0	GP	Cascalhos mal graduados com silte

As curvas granulométricas representadas revelam que se trata de materiais com tendência uniforme, com domínio da fracção grosseira (figura 5.19). As amostras S59 e S55 segundo a classificação textural representam areia e areia siltosa, respectivamente, com % 82-98% de areia, 2-17% de silte e 1% de argila.

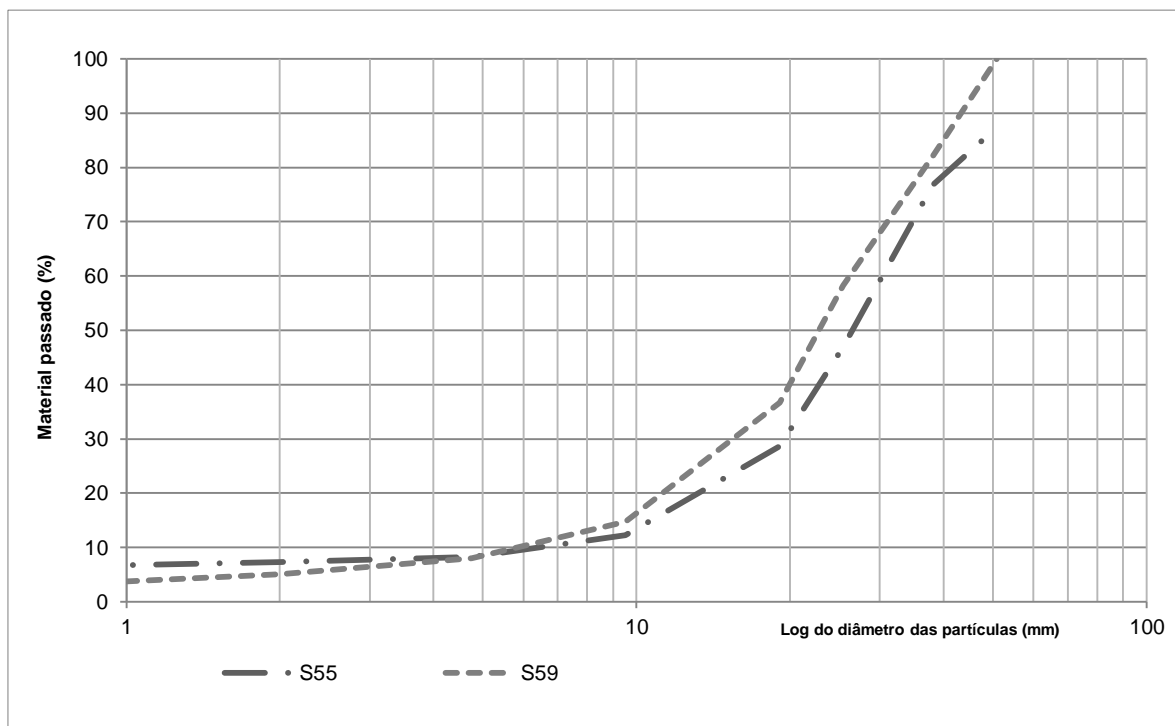


Figura 5.19 - Curvas granulométricas – Depósitos escoriáceos grosseiros.

A caracterização laboratorial (tabela 5.53), definida para as amostras G55 e G59, demonstra que o pH é básico de 8,4; a superfície específica calculada a partir da adição de azul-de-metileno é de 0,3-0,6 m²/g; sendo o cortejo argiloso residual. A sensibilidade à água é muito baixa ou nula, em conformidade com os dados de coeficiente de argilosidade que se revelaram nulos a baixos (0-0,7%).

Tabela 5.53 - Caracterização geoquímica – Depósitos escoriáceos grosseiros.

Zona	Amostra	Nº Amostra	pH	% <0,030 mm	Quantificação das Argilas por Azul Metileno	Argilas por Difractometria de Raios-X	Quantificação das Argilas
Monte Vermelho	Topo	G55	8,4	Não definido	0,6	Esm. + I+ K	(+) + Rs + Rs
	Base	G59	8,4	Não definido	0,3	Esm. + I+ K	(+) + Rs+ Rs

Esm. – Esmeclite; I- Ilite; K- Caulinite; Rs- Residual; (+) - Presente

Os resultados obtidos por ensaio de esclerômetro estão patentes na tabela 5.54, em que se verifica que os Depósitos escoriáceos grosseiros apresentam uma resistência média de 40±15 MPa para uma energia de Ressalto (R) de 10.

A não realização do ensaio de PLT está na dependência das características dos piroclastos que se encontram pouco compactos e com estado fresco ou são (W1). As zonas

mais alteradas são friáveis e de grau W4, e geralmente encontram-se à superfície, ou em níveis superiores dos afloramentos.

Tabela 5.54 - Resultados obtidos através dos ensaios com o martelo de *Schmidt* - Depósitos escoriáceos grosseiros.

Unidade Lítica	Formação Geológica	Zona	Amostra	Nº Ensaio	Posição do martelo	Leitura directa do martelo	Dureza de <i>Schmidt</i> (R)	Resultados de σ_c (MPa)
Depósitos escoriáceos grosseiros	Formação do Monte das Vacas	Monte Vermelho	Topo	L31	0º	11	23	32±10
			Base	L32	0º	11	23	32±10

5.1.27 Materiais detríticos grosseiros de vertente

Para estes materiais só foi efectuada a caracterização a partir dos ensaios geomecânicos de dureza de *Schmidt* e de resistência à compressão simples, através do teste PLT. Os dados referentes à resistência mostram uma energia de ressalto (R) de 45 com horizontalidade do martelo a 0º, em que a resistência por compressão simples é 170±70 MPa; observa-se assim que se trata de uma unidade com valores de resistência muito elevada segundo os autores Broch & Franklin (1972) e Bieniawski (1974).

Por sua vez os valores de tensão por ensaio de carga pontual deram resultados muito elevados quando comparados com os resultados de índice de *Schmidt*. Para a amostra P10, a resistência média é de 9,9 MPa e a resistência máxima de 11,2 MPa. Comparando os resultados dos ensaios obtidos por compressão simples (Martelo de *Schmidt*), carga pontual (PLT) e por UCS, estes são de 170±70, 9,9 e 238,1 MPa, respectivamente.

Estes valores são correlacionáveis com as características de estado *in situ*, uma vez que se trata de materiais são com estado de alteração W1. Estes valores são equivalentes aos obtidos para a unidade dos Basaltos maciços, o que parece mostrar que a maioria dos constituintes resultam da desagregação e transporte a partir da unidade dos Basaltos maciços.

5.1.28 Solos de cobertura

Atendendo às características de estado *in situ*, foi possível analisar um conjunto de amostras através de ensaios geotécnicos e mineralógicos-geoquímicos, representando solos de cobertura, no topo das anteriores unidades. A descrição será realizada a partir da unidade subjacente, de modo a facilitar a organização dos dados. Embora caracterizados, por apresentarem pouca espessura não foram cartografados (dado que não representam espessuras superiores a 1 m).

Apresenta-se a descrição com base na análise granulométrica, índice de plasticidade, expansibilidade, teor em água, peso específico, Classificações de Casagrande de Plasticidade (figura 5.22; tabela 5.55) e de AASTHO (figura 5.23; tabela 5.56). Na figura 5.20 são coligidas as diferentes curvas granulométricas, aparecendo a sistematização da Classificação Unificada dos solos na tabela 5.57 e a análise textural dos solos na tabela 5.58. A representatividade dos tipos dos solos é indicada na figura 5.21.

Para a caracterização mineralógica-geoquímica determinou-se o pH dos solos, a superfície específica da fracção argilosa e a respectiva composição, bem como o seu comportamento face à presença da água.

As amostras de solo S24 e S17, respeitantes aos materiais derivados dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, mostram tratar-se de siltes com elevada e baixa compressibilidade (MH) e areias mal graduadas com silte e cascalho (SW-SM), respectivamente, com teor de humidade *in situ* baixo (4,0-7,1%). Exibem finos muito plásticos (34,2-48,1%), de média expansibilidade (11,0-14,8%). Os materiais apresentam peso específico elevado a muito elevado (2,7-2,9 g/cm³), tratando-se genericamente de solos argilosos (A-7-5) e siltosos (A-4). Granulometricamente são solos mal graduados e abertos (S24) ou bem graduados (S17). Relativamente à unidade subjacente nota-se que as amostras apresentam materiais constituintes de argilas gordas arenosas e argilas gordas (CH) com fracção granulométrica fina plástica e em percentagens mais elevadas embora com IP mais baixo e a expansibilidade relativamente igual. O teor de humidade apresenta valor semelhante e o peso específico também é elevado a muito elevado. Os finos destas amostras são MH, ou seja, os finos são siltes de elevada compressibilidade. As amostras pertencem ao grupo A-7-5 (solos argilosos).

O solo resultante das brechas hialoclastíticas (S4) é uma areia siltosa com cascalho (SM), com teor de humidade *in situ* de 8,2%, podendo ser classificados de solos siltosos A-4. Os finos representam 44,1% do volume, com características não plásticas (NP) e baixa expansibilidade (9,5%). Os materiais apresentam peso específico muito elevado (2,8 g/cm³), a curva diz respeito a uma granulometria mal graduada. Relativamente à unidade de origem salienta-se que os materiais são também mal graduados, apresentam peso específico muito elevado (2,9 g/cm³). Apresentam finos (~11,0%) não plásticos (NP) mas com algumas características expansivas (10,1-11,1%). Os finos são do tipo ML, siltes de baixa compressibilidade.

A amostra S39 está relacionada com o solo de cobertura da unidade dos Basaltos maciços em rolos. Trata-se de uma areia argilosa com cascalho (SC), apresentando uma considerável percentagem de finos (44,8%), moderadamente plásticos (16%), com elevada expansibilidade (25,2%) e com teor de humidade *in situ* baixo a elevado (7,1-23,5%). O peso específico é elevado (2,8 g/cm³) com expansibilidade elevada (25,2%). O solo pode ser classificado como argiloso (A-7-5).

As amostras S19 e S54 dizem respeito aos solos de cobertura da unidade Basaltos vesiculares em rolos. São areias siltosas com cascalho (SM) e siltes (ML), apresentando uma percentagem considerável de finos (34,6-61,0%), moderadamente plásticos (9,0%) a não plásticos (NP), moderadamente a muito expansivos (15,5-19,2%) e com teor de humidade *in situ* baixo (3,3-7,2%); O peso específico é baixo a elevado (2,3-2,7 g/cm³). Segundo a classificação de AASTHO, trata-se de solos siltosos e argilosos (A-4 e A-5).

Estes dados demonstram uma evolução destes solos de cobertura relativamente à unidade de origem.

As amostras S15 e S27 respeitantes aos depósitos superficiais da unidade Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli, são granulometricamente bem graduadas e não uniformes, correspondem a argilas magras arenosas com cascalho (CL) e areias argilosas com cascalho (SC), com teor em água *in situ* baixo (3,3-7,2%). Ambas as amostras apresentam percentagem bastante considerável de finos (48,0-55,8%), moderadamente plásticos (16-17%) e com expansibilidade média de 13,5%. O peso específico é muito elevado (2,9-3,0 g/cm³). Os finos presentes podem ser classificados como argilas magras (CL), o que traduz uma classificação de solos argilosos (A-7-6).

A amostra S1 do solo de cobertura da unidade de Basaltos maciços representa uma areia siltosa com cascalho (SM), com uma percentagem considerável de finos (37,6%), moderadamente plásticos (9%) e moderadamente expansivos (14,7%). O peso específico é elevado (2,7 g/cm³) e a amostra tem teor em água *in situ* baixo (5,2%), podendo ser classificado como um solo do tipo argiloso (A-5), mal graduado e não uniforme.

A amostra S16, respeitante aos solos da unidade de Basaltos vesiculares inferiores, é um solo com teor de humidade *in situ* baixo (7,3%), constituído por areias argilosas com cascalho (SC), mal graduadas, com percentagem considerável de finos (45,4%), não plásticos (NP) e moderadamente expansivos (13%). O peso específico é muito elevado (2,9 g/cm³). Os finos presentes são do tipo argilas magras (CL). Segundo a classificação de AASTHO, os materiais correspondem a solos siltosos (A-4).

As amostras S34 e S30 dizem respeito aos solos de cobertura da unidade dos Basaltos vesiculares superiores, que correspondem a areias argilosas bem graduadas com cascalho (SC) e a areias siltosas bem graduadas com cascalho (SM). Ambas as amostras apresentam percentagem considerável de finos (25,3-29,6%), moderadamente a muito expansivos (11-22%), moderadamente plásticos (24,0%) e não plásticos (NP), com expansibilidade moderada entre 10,9-22,0% e teor de humidade *in situ* baixo entre (6,9-7,4%). O peso específico é muito elevado (2,8 g/cm³). Os finos presentes são do tipo CH (argilas gordas com elevada compressibilidade) a CL (argilas magras com baixa compressibilidade). Segundo a classificação de AASTHO, trata-se de solos argilosos (A-7-6) e siltosos (A-4).

Relativamente à unidade subjacente, as amostras de solo são areias argilosas com cascalho e areias siltosas com cascalho, tais como os solos de cobertura analisados; com menor proporção de finos (16,6-20,1%), plásticos a não plásticos (NP-18,7%), de baixa a média expansibilidade (6,1-17,4%), com peso específico baixo a muito elevado (2,3-2,9 g/cm³). Contêm finos do tipo CH (siltes com elevada compressibilidade) e do tipo silte (ML). Trata-se de solos argilosos (A-7-5) e siltosos (A-4).

As amostras S6, S20 e S23 dizem respeito aos solos resultantes da unidade dos Basaltos com disjunção colunar. Trata-se de areias argilosas com cascalho (SC), areias bem graduadas com cascalho (SW) e cascalhos bem graduados com areia (GW), com uma percentagem volumétrica de finos entre 3-20%, de características não plásticas (NP) a moderadamente plásticas (21,%), e expansibilidade variando entre 9,7-15,4%; o peso específico é muito elevado (2,9-3,1 g/cm³). A amostra S23 demonstra tratar-se de um solo com média expansibilidade, enquanto as amostras S6 e S20, representam solos não

plásticos, o teor de humidade varia pouco (6,9-7,4%); segundo a classificação de AASTHO, trata-se de solos siltosos (A-4) e argilosos (A-7-5).

Estas diferenças de características salientam-se relativamente aos materiais da unidade subjacente, que apresentam areias siltosas com cascalho (SM), com teor de humidade *in situ* muito baixo ou nulo e 13,9% de finos não plásticos. Contudo, os ensaios de expansibilidade exibem um valor médio aproximado (12,3%), com peso específico muito elevado (2,94 g/cm³). Estes materiais dão origem a um solo ML, ou seja os finos são siltes, e pertencem ao tipo A-4, o que corresponde a finos do tipo siltoso.

A amostra S18 diz respeito aos solos de cobertura dos Basaltos com disjunção esferoidal. Trata-se de areias bem graduadas com silte e cascalho (SW-SM). Apresenta baixa percentagem de finos (6,1%), não plásticos (NP). O peso específico é muito elevado (3,0 g/cm³), expansibilidade é de 9,1%; o teor de humidade *in situ* é baixo (3,6%), sendo os finos representados por argilas magras (CL). Segundo a classificação de AASTHO, trata-se de solos siltosos (A-4). Relativamente à unidade base, os materiais, apresentam também uma percentagem muito baixa de teor de humidade *in situ* (0,5%) e de finos (2,8%), com características não plásticas (NP), e exibem baixa expansibilidade (3,5%) e peso específico muito elevado (3,1 g/cm³). Segundo a classificação de Casagrande de Plasticidade trata-se de solos do tipo ML, ou seja os finos são siltes com baixa compressibilidade.

As amostras S8 e S46 dizem respeito aos solos de cobertura dos Basaltos olivínicos, que correspondem a areias siltosas com cascalho (SM) e a areias argilosas com cascalho (SC). Apresentam percentagem de finos entre 26,1-33,1%, de características muito plásticas (19,1-25,3%). O peso específico é muito elevado (2,8 g/cm³); com teor em água *in situ* entre 7,8-11%. Os finos podem ser classificados de siltes com elevada compressibilidade (MH) e argilas magras com baixa compressibilidade (CL). A classificação dos materiais corresponde aos tipos de solos argilosos (A-7-5) e siltosos (A-4).

Quando analisados conjuntamente com a unidade base, estes resultados sugerem semelhanças quanto à natureza dos materiais recolhidos que são classificados como areias siltosas com cascalho (SM), em que os finos apresentam-se em menor percentagem (6,9%) são plásticos (18%) de média expansibilidade (15,4%) e o peso específico muito elevado (2,8 g/cm³). Os finos pertencem ao grupo MH, e são siltes com elevada compressibilidade e do grupo solo argiloso (A-7-5; classificação de AASTHO).

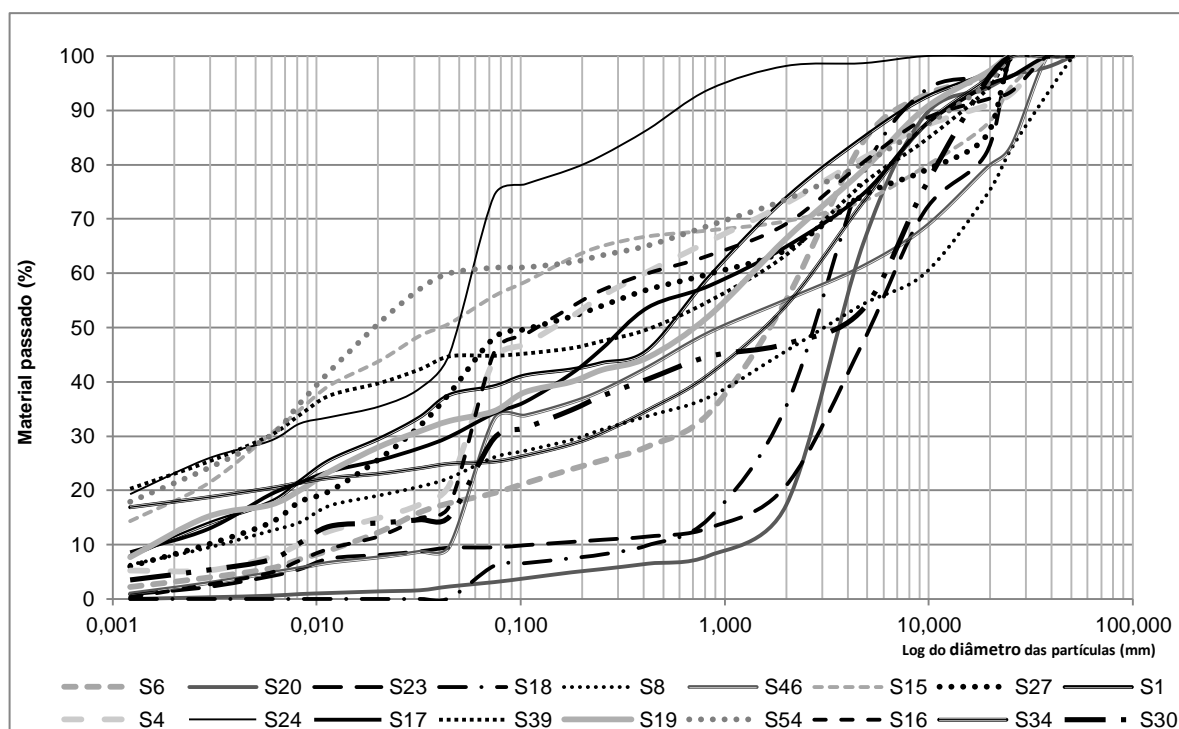


Figura 5.20 - Curvas granulométricas – Solos de cobertura

A visualização do conjunto das curvas granulométricas, faz salientar três famílias nomeadamente: as uniformes com excesso de grosseiros, as bem graduadas, e as bem graduadas com excesso da fracção siltosa.

Com base na figura 5.21, conclui-se que a maior representatividade de amostras é do tipo de solo SC (areia argilosa), com 32%, seguido do tipo SM (areia siltosa), com 27%, 17% para as amostras SW e SW-SM, e os restantes 24% para as restantes, tipologias (ML, MH, CL, GW) com 6% de representação cada tipo. As classes mais representativas não estão correlacionadas principalmente com as unidades Basaltos vesiculares superiores e Basaltos olivínicos e aparecem especialmente representadas na área de São Felipe Oeste, e São Felipe Leste e Estrada do Hospital da Trindade.

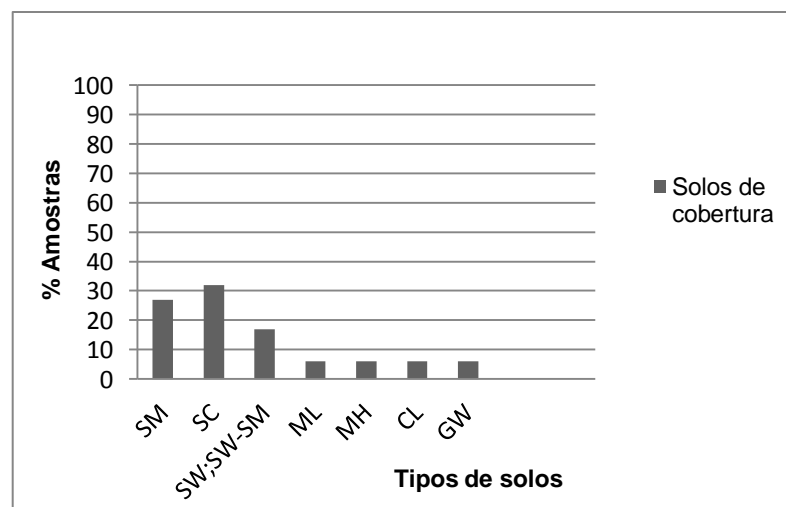


Figura 5.21 - % Amostras vs Tipos de solos – Solos de cobertura.

Na tabela 5.55 aparece a síntese da Classificação da Carta de Plasticidade de Casagrande, em que 47,4% dos solos são do tipo CL (argilas magras com baixa compressibilidade), 26,3% dos solos são do tipo ML (siltes com baixa compressibilidade), 21,1% do tipo MH (siltes com elevada compressibilidade) e os restantes 5,2% a solos do tipo CH (argilas inorgânicas de alta compressibilidade).

Segundo a classificação de AASTHO, 52,6% são do grupo (A-4 siltosos), 21,1% de A-7-5 (solos argilosos), 15,8% de A-7-6 (solos argilosos) e 11, 1% do grupo A-5 (solos argilosos).

Tabela 5.55 - Classificação da Carta de Plasticidade de Casagrande e de AASTHO.

Amostra	Carta Casagrande	AASTHO
S4	CL	A-4
S39	MH	A-7-5
S6	CL	A-4
S19	ML	A-5
S16	CL	A-4
S18	CL	A-4
S20	MH	A-7-5
S54	CL	A-4
S1	ML	A-5
S23	CL	A-4
S34	CH	A-7-6
S46	CL	A-4
S48	ML	A-4
S8	MH	A-7-5
S30	CL	A-4
S24	MH	A-7-5
S17	ML	A-4
S15	ML	A-7-6
S27	CL	A-7-6

Na figura 5.22 aparece representada a Carta de Plasticidade de Casagrande. Estes resultados mostram uma repartição entre os solos com elevada e baixa compressibilidade (>50 % LL e <50% LL) e >30% IP e <30 % IP, relativamente ao índice de plasticidade.

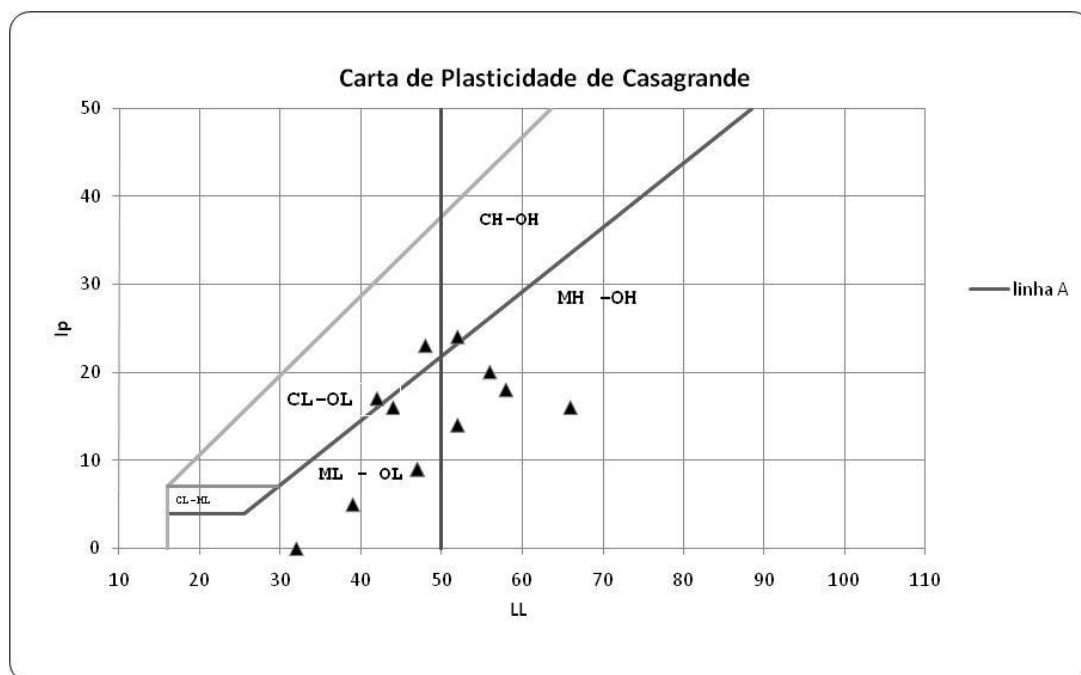


Figura 5.22 - Carta de Plasticidade de Casagrande – Solos de cobertura.

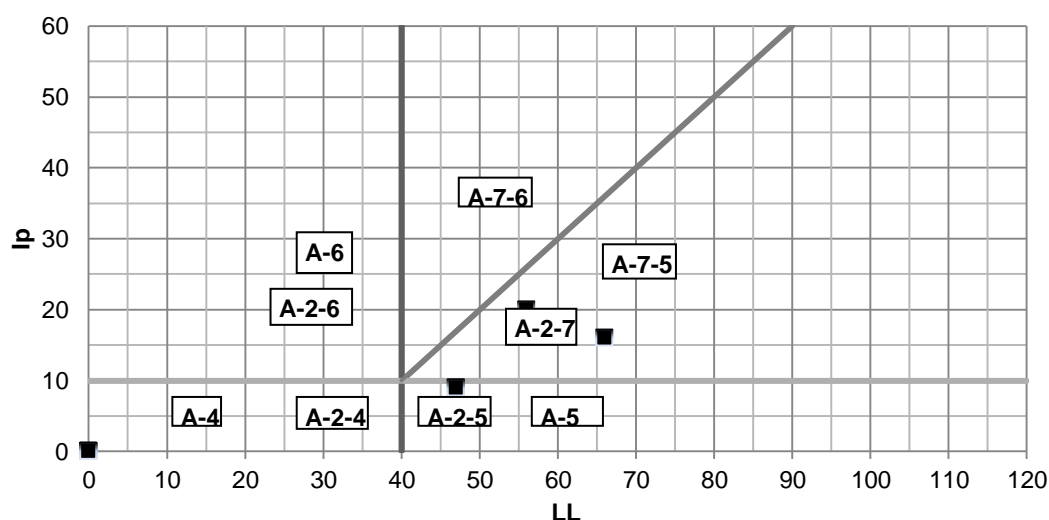


Figura 5.23 - Classificação de AASTHO – Solos de cobertura.

Na tabela 5.56, estão representados os resultados geotécnicos das amostras de solos de cobertura, em que se salienta a amostra S39 (Ribeira do Palmarejo Pequeno), com percentagem de argila na ordem dos 20,3%, com limite de liquidez de 65,5%, índice de plasticidade de 49,5% e expansibilidade de 25,2%; a amostra S20 contém materiais com compressibilidade de 56,3% e índice de plasticidade elevado (24%).

Realça-se também, as amostras de São Felipe Leste (S8) e Oeste (S30), que apresentam limite de liquidez entre os 51,5% e 58,3%; a amostra de São Felipe Oeste (S30) apresenta finos (19,3%) plásticos (40,3%). Na Bela Vista a amostra recolhida contém finos (19,3%) plásticos (40,3%), com elevada compressibilidade (58,3%).

Tabela 5.56 - Resultados geotécnicos das amostras de solos de cobertura.

Local de Amostragem	Amostra / Classificação	Nº Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM	Passado # 40 ASTM	Passado # 200 ASTM	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade	Classificação (D 2487-85)	
													Nome do grupo	Nome do grupo
Chã de Areia	Conglome-rado	S4	8,2	72,9	60,3	44,1	5,2	NP	NP	NP	2,8	9,5	SM	Areia siltosa com cascalho
Ribeira do Palmare-jo Pequeno	Arenito	S39	23,5	63,4	49,7	44,8	20,3	65,5	49,5	16	2,8	25,2	SC	Areia argilosa com cascalho
Achada Baixo	Arenito	S6	3,7	55,1	28,1	19,5	2,2	NP	NP	NP	3,1	9,7	SC	Areia argilosa com cascalho
Cova Minhoto	Arenito	S19	7,2	66,4	44,5	34,6	7,7	47,0	38,0	9,0	2,3	19,2	SM	Areia siltosa com cascalho
Achada Furada	Micro-conglomerado	S16	7,3	69,1	60,0	45,4	0,3	NP	NP	NP	2,9	13,0	SC	Areia argilosa com cascalho
Achada Furada	Arenito	S18	3,6	35,5	9,9	6,1	0,0	NP	NP	NP	3,0	9,1	SW-SM	Areia bem graduada com silte e cascalho
Oeste de Cova Figueira	Arenito	S20	2,9	17,3	6,5	3,1	0,0	56,3	35,5	20,8	3,1	9,3	SW	Areia bem graduada com cascalho
Oeste de Cova Figueira	Pelito	S54	3,3	73,6	65,1	61,0	17,9	NP	NP	NP	2,7	15,5	ML	Silte
Monte Babosa	Arenito	S1	5,2	59,4	43,5	37,6	7,9	47,0	38,0	9,0	2,7	14,7	SM	Areia siltosa com cascalho
Ponta Preta	Conglome-rado	S23	3,8	20,9	11,6	9,5	0,7	NP	NP	NP	2,9	15,4	GW	Cascalho bem graduado com areia
Estrada do Hospital da Trindade	Arenito-Microconglomerado	S34	6,9	54,1	34,8	25,3	16,9	52,3	28,2	24,0	2,8	22,0	SC	Areia argilosa com cascalho
Estrada do Hospital da Trindade	Arenito	S46	11,0	55,1	42,7	33,1	1,0	NP	NP	NP	2,8	25,3	SC	Areia argilosa com cascalho
São Felipe Leste	Conglome-rado	S8	7,8	45,7	33,7	26,1	6,3	51,5	37,7	14,0	2,7	19,1	SM	Areia siltosa com cascalho
São Felipe Oeste	Arenito	S30	7,4	37,0	40,5	29,6	3,5	NP	NP	NP	2,8	10,9	SM	Areia siltosa com cascalho
Bela Vista	Pelito	S24	7,1	98,2	86,5	74,3	19,3	58,3	40,3	18,0	2,9	14,8	MH	Silte elástico com areia
Monte Pensamento	Micro-arenito	S17	4,0	64,9	53,7	34,2	8,6	38,5	34,1	4,4	2,7	11	SW-SM	Areia bem graduada com silte e cascalho
Chão de Lemão A (topo)	Pelito	S15	7,1	69,6	66,8	55,8	14,3	44,0	28,0	16,0	2,9	13,7	CL	Argila magra arenosa com cascalho
Chão de Lemão B (base)	Micro-arenito	S27	3,3	64,3	57,0	48,1	6,0	42,0	25,0	17,0	3,0	13,4	SC	Areia argilosa com cascalho

Os depósitos de cobertura estão organizados em três grupos granulométricos quanto à classificação dos seus solos; um grupo constituído por areias siltosas com cascalho, areias argilosas com cascalho, areias bem graduadas com siltes e cascalhos, areias bem graduadas com cascalhos provenientes de Basaltos olivínicos, Basaltos com disjunção esferoidal, Basaltos com disjunção colunar, Basaltos vesiculares superiores, Basaltos vesiculares inferiores, basaltos maciços, Basaltos porfiríticos com bancadas de lapilli, Basaltos vesiculares em rolos, Brechas hialoclastíticas e um segundo grupo é constituído por cascalho bem graduado proveniente de Basaltos com disjunção colunar. O terceiro grupo é constituído por finos: siltes elásticos com areias e argilas magras arenosas com cascalho, provenientes de Mantos e filões básicos e ultra-básicos e Basaltos porfiríticos com bancadas de lapilli, respectivamente.

Tabela 5.57 - Classificação textural – Solos de cobertura.

Nº Amostra	% Areia	% Argila	% Silte	Classificação Textural
S24	24	20	55	Silte argiloso
S17	54	12	34	Areia siltosa
S4	29	16	55	Silte arenoso
S39	45	7	47	Areia siltosa
S19	42	28	31	Areia argilosa
S15	23	21	57	Silte argiloso
S27	39	10	51	Silte arenoso
S1	41	11	48	Silte arenoso
S16	43	1	55	Silte arenoso
S34	65	24	11	Areia argilosa
S30	74	7	19	Areia siltosa
S6	77	3	20	Areia siltosa
S20	93	1	6	Areia
S23	80	3	17	Areia - Areia siltosa
S18	95	1	5	Areia
S8	56	11	32	Areia siltosa
S46	45	1	54	Areia siltosa – silte arenoso
S54	23	23	53	Silte argiloso

Com base na tabela 5.57 e figura 5.24, as amostras dos solos de cobertura das diferentes unidades, têm as seguinte representação textural: 27% são areias siltosas, 21% siltes arenosos, 16% siltes argilosos, 11% areias argilosas, 11% areias, 6% areias-areias siltosa e outros 6% de areias siltosas-siltes arenosos. Estamos genericamente na presença de materiais siltosos com alguns finos, embora traduzindo comportamentos plásticos e expansivos diferenciados.

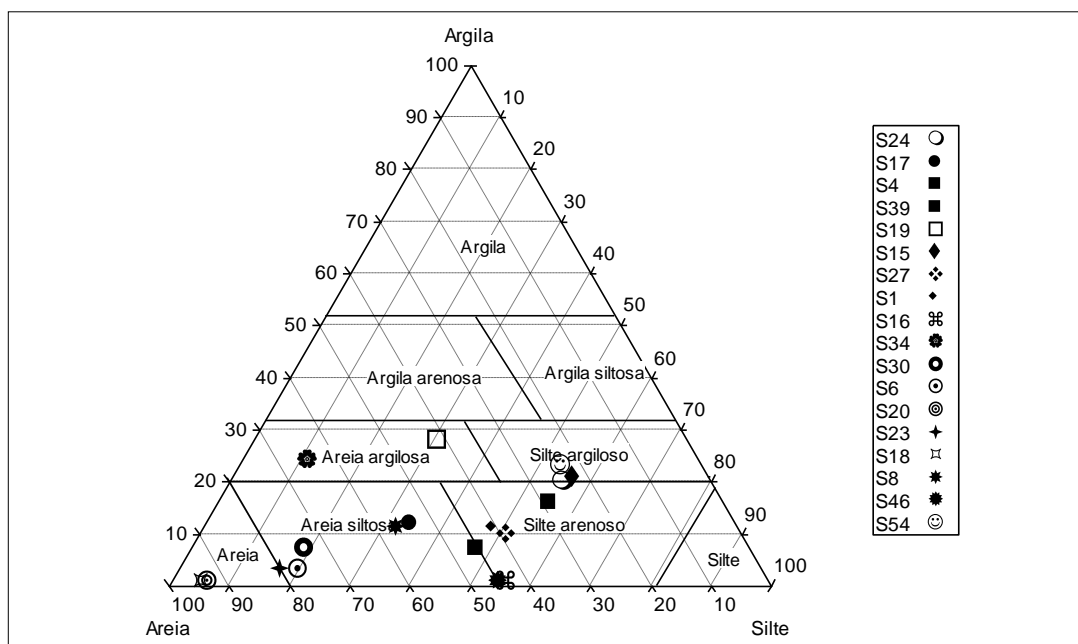


Figura 5.24 - Classificação Textural – Solos de cobertura.

A composição mineralógica da fracção argilosa e respectiva superfície específica dos materiais de cobertura é bastante variável, dependem das unidades subjacentes, ou que lhes deram origem. Na tabela 5.58, são apresentados os resultados obtidos em 18 amostras respeitantes a 11 unidades litológicas. Determinou-se ainda a superfície específica e a mineralogia das argilas.

Nos depósitos superficiais das amostras de Mantos e filões básicos e ultra-básicos (G24 e G17), o pH é básico, com valores a situarem-se entre 7,17-7,89. A associação mineralógica da fracção argilosa revela que a esmectite varia desde dominante a residual; a ilite está presente e a caulinite e esmectite evidenciam sinais de degradação. A adsorção ao azul-de-metileno em duas amostras registou valores da superfície específica baixos a moderados (9,1-30,7 m²/g), o que pode ser compreendido pelo claro domínio de caulinite numa amostra, e de ilite noutra amostra. O comportamento face à presença da água é baixo (G17) a uma sensibilidade pouco ou moderadamente activa (G24). Estes dados são compatíveis com os traduzidos pelos coeficientes de argilosidade e actividade coloidal de 3,22% e 0,8%.

Nas Brechas hialoclastíticas (G4) os solos apresentam pH básico, com valor de 7,99; a composição mineralógica da fracção argilosa tende a ser representada pela associação esmectite+caulinite (ambas residuais). O comportamento face à presença da água revela uma sensibilidade do tipo argiloso com minerais pouco ou moderadamente activos (caulinite e ilite), sendo o coeficiente de argilosidade na ordem de 4,3%.

Os solos de cobertura de Basaltos maciços em rolos (G39), apresentam uma associação mineralógica argilosa esmectite+caulinite, embora residual. A superfície específica tem valor de 107,1 m²/g, o que pode resultar da presença do mineral vermiculite. O pH do solo é 7,86, básico. A sensibilidade na presença da água é do tipo argiloso com minerais pouco ou moderadamente activos, o que está de acordo com os resultados de

coeficiente de argilosidade e actividade coloidal, de 86,5% e 0,7%, respectivamente, o que indica que é uma argila com actividade activa.

Os Basaltos vesiculares em rolos apresentam solos de cobertura (G19 e G54) com associação argilosa do tipo esmectite+caulinite, em proporções residuais, com pH básico, cujos valores se situam entre 7,8-9,2. São solos com sensibilidade na presença da água do tipo siltoso, ou seja um comportamento pouco influenciado pelo teor de humidade. A amostra G19 indica uma tratar-se de argila com 7% de coeficiente de argilosidade e com actividade normal do tipo montmorillonite.

Os solos resultantes dos Basaltos maciços (G1) apresentam pH básico (7,6) e uma associação mineralógica, embora residual, de esmectite+ilite+caulinite, com uma superfície específica que traduz a dominância da ilite que aparece como mineral dominante e com a presença de interstificados residuais. A sensibilidade do tipo argiloso indica tratar-se de um solo com 13,6% de coeficiente de argilosidade, com minerais pouco ou moderadamente activos.

Nos solos de cobertura dos Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli (G15 e G27), a amostra G15 apresenta um pH ácido (6,6 a 7,6). A superfície específica varia de 6,9-17,9, correspondendo às associações mineralógicas, Ilite+ minerais interstificados e caulinite+ minerais interstificados. Os solos são do tipo argiloso ou moderadamente activos, com minerais de caulinite e ilite, com sensibilidade do tipo siltoso.

As amostras dos solos de cobertura dos Basaltos com disjunção colunar (G6 e G20), apresentam associações mineralógicas da fracção argilosa, ilite+caulinite e esmectite+caulinite, embora ambas residuais. A superfície específica com valores de 2,9 e 12,9 m²/g, demonstram tratar-se de solos com sensibilidade do tipo siltoso, com pH básico a variar entre os valores de 7,4-9,2, logo pouco influenciado pela variação o teor da água.

Os solos de cobertura dos Basaltos com disjunção esferoidal (G18) apresentam minerais argilosos de ilite (residual) em associação com minerais interstificados. A adsorção revela que o solo apresenta uma sensibilidade do tipo siltoso, sendo o valor do pH é 7,8 (básico).

As amostras dos solos dos Basaltos vesiculares inferiores (G16 e G23) mostram pH básico (7,1-8,3), associações mineralógicas argilosas do tipo esmectite+ilite+caulinite e esmectite+caulinite, em que a superfície específica apresenta valores muito baixos (3,9-6,3), com baixa sensibilidade face à presença da água do tipo siltoso.

As amostras dos solos de cobertura dos Basaltos vesiculares superiores (G34 e G30) apresentam pH neutro com valor de 7,0, sendo a associação mineralógica argilosa suportada por esmectite+caulinite+vermiculite. Os solos são do tipo argiloso, ou moderadamente activo, evidenciando a amostra G34 tratar-se de argila com 2,8% de coeficiente de argilosidade, mas em que a fracção fina é muito reduzida.

Os solos dos Basaltos olivínicos (G46 e G8) são representados pela associação mineralógica, esmectite+caulinite; a esmectite está presente e é dominante numa das duas amostras. São solos com sensibilidade do tipo argiloso com minerais pouco ou moderadamente activos. A amostra G8 indica uma tratar-se de argila com 3,2% de coeficiente de argilosidade e com actividade coloidal normal do tipo montmorillonite (1,73).

Tabela 5.58 - Caracterização laboratorial – Solos de cobertura.

Local de Amostragem	Nº Amostra	pH	% <0,0030mm	Superfície Específica (Sa)	Argilas por Difractometria de Raios-X	Quantificação das Argilas
Solos de cobertura dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos						
Bela Vista	G24	7,9	25,8	9,1	Esm. + K	Rs + Rs
Monte Pensamento	G17	7,3	12,8	30,7	I + Int. (12-14A)	(+) + (+)
Solos de cobertura das Brechas hialoclastíticas						
Chã de Areia	G4	7,9	5,23	31,6	Esm. + K	Rs + Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos maciços em rolos						
Ribeira do Palmarejo Pequeno	G39	7,8	25,2	107,1	Esm. + I + K	(70%) + (28%) + Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos vesiculares em rolos						
Cova Minhoto	G19	7,8	15,1	24,0	Esm. + K	Rs + Rs
Oeste de Cova Figueira	G54	9,2	24,0	58,0	Esm. + K	Rs + Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli						
Chão de Lemão - Perfil A	G15	6,6	21,2	6,9	I + Int. (12-14A)	D + Rs
Chão de Lemão - Perfil B	G27	7,6	10,0	17,9	K + Int. (12-14A)	(+) + Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos maciços						
Monte Babosa	G1	7,6	13,8	47,0	Esm. + I + K	Rs + Rs+ Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos vesiculares inferiores						
Cidadela Ponta	G16	8,3	2,6	6,3	Não identificado	Zero
Ponta Preta	G23	7,1	2,18	3,9	Esm. + I + K	Rs + Rs+ Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos vesiculares superiores						
Estrada do Hospital da Trindade	G34	7,0	18,7	3,6	Esm. + K	(+) + Rs
São Felipe Oeste	G30	7,8	5,3	19,8	Esm. + K+ V	Rs + Rs+ Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos com disjunção colunar						
Achada Baixo	G6	7,4	3,9	12,9	I + K	Rs + Rs
Oeste de Cova Figueira	G20	9,2	0,3	2,9	Esm. + K	Rs + Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos com disjunção esferoidal						
Achada Furada	G18	7,8	0,0	3,1	I + Int. (12-14A)	Rs + Rs
Solos de Cobertura dos Basaltos olivínicos						
Estrada do Hospital da Trindade	G46	7,7	2,9	49,2	Esm. + K	D (96%) + Rs
São Felipe Leste	G8	7,4	9,4	10,6	Esm. + K	Rs + Rs

Esm. – Esmeclite; I- Ilite; K- Caulinite; D- Dominante; Rs - Residual; (+) - Presente

O elevado valor de superfície específica da amostra G46, mostra material com reacção à presença da água, apesar do baixo valor da percentagem da fracção argilosa, logo na dependência de minerais argilosos. Na tabela 5.58, salienta-se os valores da

superfície específica das amostras G39 (depósitos de cobertura da unidade dos Basaltos maciços em rolos), G54 (depósitos de cobertura da unidade dos Basaltos vesiculares em rolos), G1 (depósitos de cobertura da unidade dos Basaltos maciços) e G46 (depósitos de cobertura da unidade dos Basaltos olivínicos).

5.2 Resultados complementares geotécnicos do LEC-CV e INGRH

Apresentam-se seguidamente resultados geotécnicos do Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde (LEC-CV) e do Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (INGRH), compilados a partir de relatórios, visando complementar a caracterização anterior. Os resultados estão organizados por unidades litológicas, à semelhança dos pontos anteriores.

Com base nos relatórios do LEC-CV, os ensaios laboratoriais descritos incluem dados de composição granulométrica, de limites de Atterberg, do peso específico dos grãos do solo, do teor de humidade *in situ* e da expansibilidade linear. Apresentam-se ainda os resultados da classificação de solos utilizada pelo LEC-CV, a Classificação Unificada da ASTM (D-2487-66T), bem como os dados do Penetrómetro Dinâmico Ligeiro (PDL) para a determinação da resistência mecânica do solo.

Com estes dados é possível avaliar a resistência do solo qualitativamente em função da maior ou menor capacidade de penetração do aparelho. Os valores da resistência mecânica calculada permitem fazer a avaliação segundo a seguinte classificação: de 0 a 2 Kg/cm², terreno mole ou brando; 2 a 4 Kg/cm², menos mole; 4 a 8 Kg/cm², duro ou firme e de 8 a 12 Kg/cm², terreno muito duro.

5.2.1 Mantos e filões básicos e ultra-básicos

Os ensaios de PDL, efectuados nesta unidade litológica, demonstram que a profundidades de 1,0 m, já se encontram materiais resistentes (4,1 kg/cm²), alcançando o valor 16,8 kg/cm², a uma profundidade máxima de 3,4 m. Trata-se assim de materiais muito duros. O teor de humidade *in situ* é muito variável, de 5,0-94,7%, que corresponde um grau de saturação na franja capilar do solo acima do nível freático. Os restantes dados geotécnicos que caracterizam os solos desta unidade são apresentados na tabela 5.59.

Segundo a compilação de dados geotécnicos, os materiais apresentam elevada percentagem de finos, variando de 14,1%-93,8%, os quais têm características não plásticas a muito plásticas (NP-37,9%). Os solos apresentam elevada a muito elevada expansibilidade (16,5-38,9%) e os respectivos materiais têm peso específico muito elevado (2,8-3,0 g/cm³).

Os materiais respeitantes às amostras CH e CH-OH e MH (Classificação Unificada) são assim classificados de argilas inorgânicas de alta compressibilidade (CH), argilas gordas a argilas orgânicas de média a alta compressibilidade (CH-OH) e siltes inorgânicos (MH). Ocorrem igualmente materiais não plásticos (SM), que são classificados de areias

argilosas e misturas de areia e silte mal graduadas e materiais denominados de areias argilosas e misturas de areia e argila e silte, mal graduada (SC).

Estes dados correlacionam-se com a maioria dos resultados apresentados em 5.1.1 para os Mantos e Filões básicos e ultra-básicos.

5.2.2 Brechas hialoclastíticas

Nos materiais das brechas hialoclastíticas, analisando a tabela 5.60, os ensaios de PDL efectuados revelam a presença de materiais muito resistentes ($4,5 \text{ kg/cm}^2$) até profundidades de 2,0-2,3 m, mantendo-se a elevada resistência com materiais muito duros ($11,7\text{-}12,7 \text{ kg/cm}^2$) para profundidades superiores.

As amostras ensaiadas são essencialmente solos do tipo SM- areias argilosas e misturas de areia e silte mal graduadas, com finos não plásticos (NP) de baixa expansibilidade (3,2-4,3%). Ocorrem amostras do tipo GC, ou seja, seixos com argila e misturas seixo-areia-argila-silte, mal graduadas, com finos ($\pm 25\%$), não plásticas ou moderadamente plásticas (NP a 16,9%) e de baixa a moderada expansibilidade (5,6-24,6%). Estes dois tipos de solos apresentam pesos específicos elevados ($2,6\text{-}2,7 \text{ g/cm}^3$).

Ocorrem igualmente materiais classificados como SC, areias argilosas e misturas de areia e argila e silte, mal graduadas, com finos (13,8-30,2%) moderadamente plásticos (9-16,3%) de baixa a elevada expansibilidade (3,2-32,1%) e peso específico muito elevado ($2,8\text{-}3,2 \text{ g/cm}^3$).

Estes dados demonstram tratar-se de materiais com considerável percentagem de finos não plásticos a moderadamente plásticos de baixa a moderada expansibilidade e peso específico elevado a muito elevado. Estes materiais quanto ao tipo de solo são diferentes aos materiais apresentados em 5.1.7, que trata-se de solos do tipo SW, SW-SC e SP-SM e SM, e não possuem plasticidade (NP).

Com base em perfis obtidos a partir do material amostrado em furos e sondagens disponibilizados pelo Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (INGRH), os relatórios técnicos, indicam para a sondagem FBE-203, do local de Ribeira do Palmarejo Pequeno, a seguinte descrição; uma camada superior de solo avermelhado com presença de calhaus, descritos como depósitos de enxurrada até 4 m de profundidade, e representando os depósitos aluvionares. Entre os 5-34 m de profundidade, aparecem representadas materiais basálticos, divididos em 3 níveis; um primeiro nível dos 5-12 m, com fragmentos de basalto esverdeado e com compactação média e com intercalações de argila; um 2º nível com fragmentos de basaltos de cor esverdeada bastante heterogêneos quanto à compactação e exibindo materiais finos e grosseiros e um 3º nível com fragmentos de basalto esverdeado e materiais acastanhados. O 1º nível assemelha-se às Brechas hialoclastíticas descritas neste trabalho.

A sondagem apresenta um nível estático para a água subterrânea a 16,8 m. À profundidade de 22, 32 e 34 m, aparecem referidos os seguintes valores de transmissividade e de condutividade eléctrica – $5 \text{ m}^3/\text{h}$, $7 \text{ m}^3/\text{h}$, $10 \text{ m}^3/\text{h}$ e $1.200 \mu\text{s/cm}$; $1.500 \mu\text{s/cm}$ e $2.500 \mu\text{s/cm}$, respectivamente.

Tabela 5.59 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Mantos e filões básicos e ultra-básicos.

Local de Amostragem	Furo/ Amostra nº	Ensaio PDL Geral Prof. (m)	Kg/cm ²	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação unificada dos solos
Terra Branca (1)	1			86,0	81,1	75,7	81,1		66,8	31,3	35,5	2,94	35,1	CH
	2			86,0	79,2	73,1	79,2		70,0	35,1	34,9	2,95	30,1	CH
	3			99,2	93,8	88,1	93,8		72,8	34,9	37,9	2,95	38,9	CH
	4	2,7	8,0	52,5	37,8	24,8	37,8		54,8	30,6	24,2	3,02	23,6	CH-OH
	5	4,5	12,0	94,7	87,8	83,4	87,8		74,9	37,2	37,7	3,02	38,8	CH-OH
	6			66,4	59,6	57,0	59,6		54,8	34,7	20,1	2,97	28,3	CH-OH
	7			78,0	73,6	65,9	73,6		62,9	42,2	20,7	2,97	34,4	CH-OH
	8			94,3	86,5	79,4	86,5		64,1	27,7	36,4	2,97	32,9	CH
Achadinha	1	2,5-2,7	5-9	7,2	49,7	28,7	18,5	1,0	35,0	23,5	11,5	2,85	23,3	SC
	2	2,6-2,7	6,7-9,9	8,8	69,5	56,7	47,0	15,6	47,7	31,2	16,5	2,84	28,1	SC
	3	4,5	8,1	11,7	52,4	31,0	19,4	6,5	48,4	35,4	13,0	2,83	24,1	SC
Bela Vista	1			12,6	51,2	46,1	35,9	2,8	NP	NP	NP	2,92	16,5	SM
	2			11,3	79,2	59,5	34,8	5,7	NP	NP	NP	2,80	21,5	SM
	3			12,0	86,0	57,7	38,1	3,2	NP	NP	NP	3,00	17,0	SM
	4			12,0	63,0	49,4	29,0	4,4	NP	NP	NP	2,79	36,6	SM
Terra Branca (2)	1	2,8-3,1	9,9-11,2	5,7	57,4	36,6	23,2	0,3	44,9	9,7	35,2	2,86	37,7	SC
São Jorginho	1			7,1	77,8	71,0	63,8	26,5	52,6	32,2	20,4	2,91	24,9	MH
	2			8,5	65,2	59,8	54,7	20,4	59,0	38,9	20,1	2,87	24,6	MH
Terra Branca (3)	1	1,0-3,4	4,1-16,8	5,0	42,2	25,5	14,1	2,5	38,5	26,8	11,7	2,88	22,6	SC

Tabela 5.60 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Brechas hialoclastíticas.

Local de Amostragem	Nº Furo/ Amostra	Ensaio PDL Geral Prof. (m)	Kg/cm ²	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação unificada dos solos
Tira- Chapéu	1	0,5-0,6	11,4-11,4										11,0	
	2	0,5	12,5										17,6	
	3	0,8-1,0	10,2-12,3										36,7	
Quebra-Canela	1			10,7	39,1	30,7	24,7	3,3	NP	NP	NP	2,71	5,6	GC
	2			11,2	47,6	29,1	16,9	1,3	NP	NP	NP	2,68	4,3	SM
	3	2,1-2,2	11,7-14,0	9,5	73,9	66,7	57,0	18,7	29,5	20,0	9,0	2,77	18,5	SC
	4	2,0-2,1	11,7-13,2	13,4	47,1	30,2	22,3	0,8	NP	NP	NP	2,62	3,2	SM
	5	1,9-2,0	11,4-12,7	8,1	40,0	21,5	10,5	0,5	NP	NP	NP	2,62	3,2	SM
	6	2,2-2,3	10,1-12,7	12,9	51,6	25,3	17,5	0,9	NP	NP	NP	2,67	3,5	SM
Prainha	1	0,6-1,2	4,5-16,8	13,8	59,4	42,0	59,4	18,2	54,5	38,2	16,3	2,83	32,1	SC
	2	0,1-1,2	2,2-16,8	6,0	25,0	17,4	25,0	3,8	54,0	37,0	16,9	2,83	24,6	GC

5.2.3 Basaltos vesiculares em rolos e Basaltos maciços em rolos

Os Basaltos vesiculares em rolos, apresentam a profundidades de 1,6 m uma resistência de 2,0 kg/cm² e a 1,9 m, cerca de 12,9 kg/cm². Regista-se assim um aumento bastante significativo em profundidade da resistência dos materiais de acordo com os dados do ensaio PDL.

Os Basaltos maciços em rolos, da Prainha, nas proximidades do Farol, a baixas profundidades (e.g 0,7 m), já apresentam uma dureza de 13,0 kg/cm², tratando-se de materiais muito resistentes (tabela 5.61).

Tabela 5.61 - Resultados dos ensaios geomecânicos dos Basaltos vesiculares em rolos e Basaltos maciços em rolos.

Unidade Lítica	Zona	Furo/ Amostra nº	Ensaio PDL Geral Prof. (m)	Kg/cm ²
Basaltos vesiculares em rolos	Achada do Palmarejo	1	1,8-1,9	9,5-12,9
		2	1,6-1,9	2,0-11,4
Basaltos maciços em rolos	Prainha/Proximidades do Farol	1	1,9-2,0	6,2-9,7
		2	0,7	13,0
		3	0,8-1,1	9,7-11,3

5.2.4 Basaltos com disjunção colunar

Os locais testados com o PDL, por exemplo na Achada de Santo António, evidenciaram que à profundidade de 60 cm os materiais já apresentam valores bastante significativos de resistência ($12,3 \text{ g/cm}^2$). À profundidade de 1 m ou 1,4 m, encontram-se materiais diferentes com resistências a variar entre $1,9 \text{ g/cm}^2$ (materiais moles) e $13,0 \text{ g/cm}^2$. Possivelmente estas diferenças ocorrem devido à espessura diferenciada da franja de alteração, a variar superficialmente de uma disjunção colunar para a disjunção em lajes, ou em bolas (esferoidal), conferindo resistência variada aos materiais.

Os materiais recolhidos nos poços caracterizam-se predominantemente por materiais do tipo SC, OL, CL e MH e só residualmente de solos SM, MH-OH e MH-OL; verifica-se assim uma grande heterogeneidade quanto ao tipo de materiais recolhidos.

Os materiais na generalidade apresentam teor de humidade *in situ* a variar de 3,4% a 27,0% no máximo, sendo o peso específico elevado ($2,7 \text{ g/cm}^3$) a muito elevado ($3,0 \text{ g/cm}^3$). Os finos variam de 19,1 a 89,4%, sendo não plásticos a muito plásticos (NP-29%) e apresentam valores de expansibilidade entre 9,7 e 38,3%. Os dados estão expressos na tabela 5.62.

Estes dados relacionam-se com os dados de campo apresentados no capítulo 4.2.18 e com os resultados geotécnicos para os Basaltos com disjunção colunar no capítulo 5.1.18.

5.2.5 Basaltos com disjunção esférica

Os locais desta unidade testados com o PDL evidenciam à profundidade de 0,5 m valores bastante significativos de resistência ($5,4 \text{ g/cm}^2$). A profundidades de 0,6 m em alguns poços a dureza é estimada de $16,8 \text{ g/cm}^2$ (muito resistentes) (tabelas 5.63 e 5.64).

Os materiais caracterizados com base na análise granulométrica são do tipo SC, SM, SW, CL e OH, apresentando heterogeneidade nas suas características geotécnicas, como atestado nas tabelas 5.66 e 5.67.

Os solos apresentam teor de humidade *in situ* (3,8-13,1%), com percentagem de finos (8-90%), variando desde solos essencialmente não plásticos a extremamente plásticos (NP-23%), com peso específico elevado a muito elevado ($2,5$ - $3,1 \text{ g/cm}^3$). Os materiais apresentam baixa a elevada expansibilidade (7,4-29,0%). O limite de liquidez em algumas amostras apresenta valores $\geq 35\%$, típico de solos CL. Estas variações das características geotécnicas podem ser explicadas pela alternância na estrutura das camadas, em lajes e em bolas, ou/e pela presença de uma camada superficial em alguns afloramentos derivada da alteração.

Estes resultados são comparáveis aos resultados apresentados para os Basaltos com disjunção esférica em 5.1.19.

Tabela 5.62 – Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos com disjunção colunar.

Local de Amostragem	Furo/ Amostra nº	Ensaio PDL Geral Prof. (m)	Kg/cm ²	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação unificada dos solos
Achada Santo Antônio (1)	1	0,5	10,6	6,0	67,7	59,3	42,7	10,6	35,0	23,3	11,7	2,9	20,5	SC
	2	0,6-0,7	7,4-12,3	7,8	58,9	53,9	42,2	7,5	41,4	27,1	14,3	2,7	22,4	SC
	3	0,6	10,6	6,6	52,0	43,1	42,6	8,1	40,5	26,3	14,2	2,9	24,5	SC
	4	0,7	9,3	6,7	54,2	45,1	32,1	4,0	27,7	21,5	6,2	2,8	26,1	SC
	5	0,6-0,7	5,6-8,9	3,4	36,8	52,1	19,1	4,8	NP	NP	NP	2,9	9,7	SM
Achada Santo Antônio (2)	1	1,2-1,3	10,6-13,0	12,8	84,2	80,4	71,8	18,7	45,6	33,2	12,4	2,96	30	OL
	2	1,3-1,4	12,1-13	9,5	49,1	42,7	37,2	12,1	38,0	30,3	7,7	2,9	20	SC
	3	1,3-1,4	8,4-13,0	9,0	74,8	68,5	60,2	20,7	44,5	31,1	13,4	2,9	25	OL
	4	1,5	13,4	7,1	73,1	55,5	34,8	12,2	44,0	27,9	16,1	3,0	22	SC
	5	1,8-2,2	8,4-10,5	10,1	87,5	80,7	71,3	30,7	43,1	28,3	14,8	2,9	33	OL
Tira-Chapéu (1)	1	1-1,5	>= 3	13,1	95,6	93,2	89,4	40,0	65,5	36,5	29,0	2,8	38,3	MH
	2			12,9	81,3	78,3	73,9	25,0	59,8	35,4	24,4	2,7	27,6	MH
	3			14,9	60,5	57,9	55,6	25,0	70,1	43,9	26,2	2,9	32,3	MH-OH
Tira-Chapéu (2)	1	1,0-5,5	3,4-7,0	8,8	54,3	50,9	49,1	10,5	47,0	35,0	12,0	2,9	23,3	SC
	2	1.005,6	1,9-7,0	7,1	74,9	70,9	67,6	16,9	41,1	28,6	12,5	2,9	18,7	OL
	3	0,7-4,0	1,7-7,7	7,7	60,7	57,7	55,8	16,6	49,9	37,3	12,6	2,9	16,6	OL
	4	0,9-5,5	3,4-7,0	11,7	86,6	81,2	77,2	27,8	43,4	26,5	17,0	2,8	29,3	CL
	5	1,0-6,0	1,3-7,7	7,1	63,1	59,4	56,6	12,0	38,8	21,5	17,5	2,9	19,3	CL
Tira-Chapéu (3)	1			13,0	97,1	73,6	45,0	2,2	46,2	38,6	7,6	3,0	24,9	CL
Palmarejo	1			25,0	90,6	87,6	85,8	39,3	51,1	30,3	20,8	3,0	25,3	MH
	2			16,0	44,6	28,6	22,5	3,8	37,7	25,1	12,6	3,0	23,4	CL
	3			27,0	63,6	62,2	58,3	7,7	47,7	38,0	9,7	2,7	16,3	OL
	4			25,0	45,9	31,9	19,7	2,6	36,3	23,9	12,4	3,0	14,3	CL
	5			25,0	78,1	72,1	55,8	9,1	36,5	22,7	13,8	2,7	11,6	CL
	6			16,0	38,0	33,0	31,6	4,8	53,5	32,1	21,4	2,9	21,2	MH
	7			27,0	59,4	55,9	49,4	7,7	50,0	34,8	15,2	2,8	22,3	MH-OL

Tabela 5.63 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos com disjunção esferoidal.

Local de Amostragem	Nº Furo/ Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm³)	Expansibilidade (%)	Classificação unificada dos solos
Cidadela	1	5,3	52,8	29,2	23,8	5,2	33,3	26,4	6,9			SC
	2	3,8	36,9	21,5	16,4	3,5	NP	NP	NP	3,0	9,3	SM
	3	2,8	44,3	31,9	23,1	2,8	NP	NP	NP	2,9	9,7	SM
	4	7,5	50,0	31,8	23,4	5,1	NP	NP	NP	2,7	29,0	SM
	5	4,0	41,5	28,5	13,5	1,3	NP	NP	NP	2,8	8,3	SM
	6	6,0	83,3	77,5	71,6	14,2	34,7	24,6	10,1	2,7	12,5	CL
	7	5,9	59,3	33,6	27,3	3,8	40,5	28,5	12,0	3,0	13,4	SC
	8	11,8	49,1	35,5	23,4	0,0	NP	NP	NP	2,8	15,3	SM
	9	4,4	42,2	25,7	19,9	3,0	33,7	19,9	13,8	3,0	8,6	SC
	10	11,8	49,1	35,5	23,4	0,0	NP	NP	NP	2,8	15,3	SM
	11	7,5	27,4	25,1	23,3	5,6	39,9	25,7	14,2			SC
	12	9,5	41,6	28,9	19,4	0,6	NP	NP	NP	2,5	12,0	SM
	13	6,0	64,3	58,1	49,5	8,4	37,4	25,7	11,7	2,9	9,8	SC
	14	12,0	73,7	68,3	55,4	9,0	41,3	28,4	12,9	2,7	15,6	SL
	15	7,7	36,9	24,2	20,3	2,9	44,6	33,1	11,5	3,0	9,4	SC
	16	11,4	63,2	56,4	51,3	9,7	41,8	28,4	13,4	2,7	10,7	CL
	17	13,1	63,8	56,1	46,9	6,8	44,9	32,8	12,1	2,8	13,3	SM
	18	11,2	44,2	32,5	26,4	0,0	NP	NP	NP	2,5	7,4	SM
Palmarejo Grande (1)	1	4,7	31,5	54,6	39,3	9,9	35,8	21,8	14,0	2,9	24,0	SC
	2	11,6	97,0	94,8	90,1	31,9	55,7	32,6	23,0	2,8	24,0	OH
	3	6,7	70,1	62,9	53,0	12,6	35,2	20,1	15,0	2,9	17,0	CL
	4	9,9	90,6	87,9	83,1	23,2	39,8	27,5	12,3	2,8	13,0	OL
	5	7,1	90,9	78,9	62,7	13,6	32,3	24,9	7,4	2,8	10,6	CL
	6	8,6	91,8	87,4	83,2	31,9	43,7	31,4	12,3	2,8	15,1	OL
	7	7,4	53,3	40,7	36,7	11,0	46,8	32,6	14,2	2,9	17,9	SC
Palmarejo Grande (2)	1	5,6	66,6	63,8	57,3	7,5	28,9	24,3	14,0	2,9	24,0	SC

Tabela 5.64 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos com disjunção esferoidal.

Local da Amostragem	Furo/ Amostra nº	Ensaio PDL Prof. (m)	Kg/cm ²	Teor de humidade (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação Unificada dos solos
Palmarejo Grande (3)	1	0,5-0,7	9,3-16,8	4,6	27,2	14,9	11,9	1,09	35	22,2	12,8	3,1	21,0	SW
	2	0,6-0,7	13,0-16,8	4,3	34,5	14,4	11,5	1,49	35,9	20,5	15,4	2,6	13,0	SW
	3	0,8-0,9	7,5-16,8	4,2	38,4	14,6	8,6	0,99	34,4	24,4	10,0	2,8	16,0	SW
	4	0,6-1,0	7,5-16,8	5,1	32,1	12,1	8,1	1,43	37,7	23,4	14,3	2,6	16,3	SW
	5	0,5-0,6	14,9-16,8	4,7	31,8	21,1	17,2	1,82	34,2	22,9	11,4	2,9	13,0	SC
	6	0,5-0,6	14,0-16,8	5,0	50,0	35,8	29,8	3,83	31,7	20,8	10,9	2,7	17,0	SC
	7	0,7-0,9	5,4-16,8	7,1	52,1	45,4	41,8	5,68	38,7	25,1	13,5	2,8	13,0	SC
	8	0,7-0,9	6,7-16,8	5,0	46,5	27,9	22,5	2,66	36,2	25,7	10,5	2,9	9,0	SC
	9	0,7-1,4	8,2-16,8	6,8	54,2	45,2	40,1	5,68	28,9	19,7	9,2	2,8	10,0	SC

5.2.6 Basaltos olivínicos

Na tabela 5.65 apresentam-se os resultados de amostras ensaiadas com materiais desta unidade, representando solos do tipo GC, SM e GM, com percentagem considerável de finos (16,0-22,2%), desde não plásticos a muito plásticos (NP-19,2%), com expansibilidade muito elevada (37,9-40,4%) e peso específico muito elevado (2,8-2,9). Os materiais mostram um número elevado de calhaus pelo que os ensaios PDL foram inconclusivos. Estes dados sugerem pequenas diferenças relativamente aos resultados apresentados para os Basaltos olivínicos em 5.1.21, no que diz respeito á percentagem de finos (6,9%) e a expansibilidade (15,4%), serem mais baixos.

Tabela 5.65 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Basaltos olivínicos.

Local de Amostragem	Nº Furo/ Amostra	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM (%)	Passado # 40 ASTM (%)	Passado # 200 ASTM (%)	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação unificada dos solos
Achada de São Felipe	1	10,3	26,4	23	20,9	8,4	51,0	19,2	19,2	2,9	39,5	GC
	2	10,1	39,0	29,0	22,2	8,4	NP	NP	NP	2,8	40,4	SM
	3	11,5	17,6	16,7	16,0	4,8	NP	NP	NP	2,8	37,9	GM

5.2.7 Depósitos aluvionares e Depósitos de cascalheiras

A partir dos resultados dos ensaios de PDL realizados em diferentes locais dos depósitos aluvionares como se observa nas tabelas 5.66 e 5.67, os materiais apresentam-se desde moles a resistentes. À profundidade de 0,1 m pode ocorrer resistência de 2,0 Kg/cm²;

a 1,5 m de profundidade podem apresentar-se valores médios de resistência de 0,5 Kg/cm², enquanto a uma profundidade de 6,8 m se alcançam valores de resistência de 7,0-7,8 Kg/cm². O decréscimo dos valores médios de resistência possivelmente está relacionado com variações na resistência dos materiais de poço para poço, possivelmente na dependência do nível freático.

Os materiais dos depósitos aluvionares são desde mais grosseiros a finos (tabela 5.66) do tipo SW, SM-ML e SC-OH. De facto os materiais finos exibem características plásticas a muito plásticos (18,7-50%), variando de zona para zona. Em alguns casos, existe quantidade considerável de finos, com uma plasticidade, variando de NP a 29%. A expansibilidade é geralmente moderada a muito elevada (17,5-34,0%), sendo o peso específico dos materiais das aluviões também é muito elevado (2,6-2,7 g/cm³).

Na zona da Várzea (tabela 5.66), os depósitos aluvionares, a partir de 0,5 m e de 1,5 m, exibem uma camada de areia mal calibrada com misturas de areia e argila, estando na base representada uma camada de argila com cor castanha avermelhada. O nível freático encontra-se quase sempre à superfície, e é muito variável, oscilando na ordem dos 1,2-2,2 m, dependendo da maré. Através dos ensaios aplicados com o PDL, é de salientar que o terreno demonstrou uma baixa resistência à penetração. A granulometria dos materiais é extensa com excesso de finos, argilas, na sua maioria plásticas e expansivas.

Tabela 5.66 - Resultados dos ensaios geomecânicos – Depósitos aluvionares.

Local de Amostragem	Furo/ Amostra nº	Ensaio PDL Prof. (m)	Kg/cm ²
Fazenda	1	1ª Tentativa: 6,8	7,7
		2ª Tentativa: 6,5	7,8
Várzea (1)	1	1,5-2,0	0,5-0,7
	2	1,5-5,0	0,7-1,6
	3	1,5-5,0	1,1-1,1
	4	1,5-5,0	0,7-2,0
	5	1,5-5,0	0,5-2,0
	6	1,5-5,0	1,1-1,8
	7	1,5-5,0	0,9-2,8
	8	1,5-5,0	0,7-2,0
	9	1,5-4,0	1,1-2,0
	10	1,5-4,0	0,5-1,4
	11	1,5-5,0	0,7-1,6
	12	1,5-5,0	0,7-2,0
Várzea (2)	1	0,9-10,6	0,2-2,2
	2	0,9-10,0	0,6-3,7
	3	0,7-10,3	1,1-5,2
	4	0,1-0,7	2,0-11,2
	5	0,1-9,7	6,5-4,1

Por sua vez, os depósitos de cascalheiras são representados por materiais do tipo SM, resistentes a muito resistentes, como se pode constatar pelos dados de PDL na tabela 5.67. As variações muito significativas em profundidade, ocorrem aos 40 cm, com valor de PDL de 7,4 Kg/cm² e a 1,8 m com valores de 22,3 Kg/cm².

Os materiais finos (cerca de 5,7-7,4%) são não plásticos (NP), com expansibilidade geralmente baixa (6,1-7,7%). O peso específico dos materiais é muito elevado (2,9-3,00 g/cm³).

A descrição de três sondagens na zona de Taiti compreende as avenidas Cidade de Lisboa e Combatentes da Liberdade da Pátria, realizadas pela Empresa Tecnasol FGE para a implantação dos edifícios “Hotel Avenida”, SOGEI 1 e 2 (*in Riga et al.* 2011), revelam a 4,0 e 26,0 m de profundidade a existência sistemática de materiais de aterro e de aluviões:

- A camada de material de aterro é composta por areia basáltica de grão médio de cor negra acinzentada com fragmentos de natureza variada dispersa, encontrando-se representada até à profundidade de 5,0 m, em qualquer das sondagens.
- Os aluviões são compostos genericamente por seixos e calhaus rolados a sub-angulosos, envoltos em matriz arenosa lavada até a profundidade entre os 12,5 a 21 m; sobrepondo-se na espessura restante a siltes de cor castanha clara.

Os resultados de 32 ensaios de penetração dinâmica (SPT), para o caso do hotel Avenida, Sogei 1 e Sogei 2, permitem destacar: (1) a presença de água a profundidade média de 3,0 m, ou seja, a cota média de 1,4 m; (2) um zoneamento geotécnico composto por 3 materiais distintos, nomeadamente aterros até uma profundidade de 3,0 m, uma camada aluvionar arenosa sobrepondo-se a uma camada de silte até à profundidade de 13,5 m, com valores de SPT entre 6 e 35 pancadas, abaixo da qual aparecem aluviões siltosas com resultados de SPT em média de 18 pancadas, havendo casos com 40 pancadas, até a profundidades máximas prospectadas de 26 m.

Os resultados obtidos permitem afirmar que estamos na presença de solos moles a semi-duros, com nível freático elevado (varia de 0,8 a 1,45 m).

Os Trabalhos de A. Gomes (1980; 2007) referem perfis de sondagens (e.g furo FBE-7) com uma camada superficial de 4,65 m de profundidade de depósitos aluvionares sobrejacente a Mantos e filões básicos e ultra-básicos até à profundidade de 40 m. Os valores de transmissividade encontrados foram de 7 m³/h, com o nível freático a 6,9 m de profundidade na localidade de São Jorginho, no Concelho da Praia.

Tabela 5.67 - Resultados dos ensaios geotécnicos – Depósitos aluvionares e Depósitos de cascalheiras.

Unidades litológicas	Local de Amostragem	Furo/ Amostra nº	Ensaio PDL Geral Prof. (m)	Kg/cm ²	Teor em água (%)	Passado # 10 ASTM	Passado # 40 ASTM	Passado # 200 ASTM	% Argila	Limite de Liquidez (%)	Limite e Plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Peso específico (g/cm ³)	Expansibilidade (%)	Classificação Unificada dos solos
Depósitos aluvionares (a)/ Depósitos de cascalheiras (c)	Várzea (a)	Amostra a 2,3 m prof.			8,2	75,4	50,2	50,2	25,0	62,0	33,0	29,0	2,7	34,0	SC-OH
		Amostra a 3,0 m prof.			8,0	93,0	75,8	50,2	5,7	NP	NP	NP	2,6	29,5	SM-ML
	Ribeira de Palmarejo Pequeno (c)	1	4,9-5,0	4,0-7,7											
		2	4,3-4,4	4,5-7,7											
		3	4,6	9,0											
		4	5,0-5,3	1,8-7,0											
	Chã de Areia (a)	1	5,2	7,1	5,2	51,2	38,8	18,9	4,7	28,4	17,6	10,8	2,7	17,5	SW
		2	2,4-2,5	7,0-7,0	5,5	49,8	31,4	18,7	5,4	38,4	22,5	15,9	2,8	21,4	SW
		3	4,3	6,8	6,8	58,0	44,8	30,4	8,0	27,8	21,6	6,2	2,9	27,4	SW
	Calabaçeira (c)	1	A existência de materiais de calibre de 40 cm não permitiu realizar PDL para além dos 30 cm de profundidade		3,1	62,4	23,1	4,9	2,9	NP	NP	NP	3,0	6,2	SM
		2	1,7-1,8	10,8-22,3	2,6	37,1	12,5	5,1	0,8	NP	NP	NP	3,0	6,1	SM
		3	0,4	7,4	3,0	36,3	14,4	5,3	1,0	NP	NP	NP	3,0	7,3	SM
		4	1,1-1,2	9,4-11,3	2,9	41,9	19,4	7,4	2,0	NP	NP	NP	3,0	7,7	SM

5.3 Informação geoquímica e petrográfica

No Laboratório de Química e Geoquímica do Instituto Geológico e Mineiro de Espanha (IGME) foram estudadas 4 amostras representativas de algumas das unidades litológicas mais expressivas da região estudada, respeitantes a uma amostra de brechas hialoclastíticas (HY-CV-ST), de Basaltos olivínicos (SSV-29), de Fonólitos e traquitos brechificados (SSV-30) e de Basaltos com disjunção colunar (SSV-31). No presente subcapítulo sintetiza-se a informação constante dos relatórios fornecidos pelo Instituto Geológico e Mineiro de Espanha (IGME), os quais incluem, para além de informação geoquímica, igualmente uma caracterização petrográfica.

A amostra das Brechas hialoclastíticas diz respeito a materiais macroscopicamente correspondentes a fragmentos de rocha vulcânica, sub-arredondados, de cor cinzenta escura em secção polida. Apresentam escassos poros, quando existentes preenchidos com materiais avermelhados de oxidação. Microscopicamente a textura é porfírica, com fenocristais de piroxena tendencialmente idiomórficos. Os cristais maiores são poiciliticos, com inclusões de apatite, opacos e apresentando micro-vacúolos. As anfíbolos apresentam igualmente tendência idiomórfica e são muito pleocróicas, de tons cinzentos ou verde-amarelados. Ocorrem em cristais isolados, com maclas. As plagioclases ocorrem como fenocristais igualmente idiomórficos, sendo o mineral mais escasso. Também fazem parte da matriz, com hábito acicular, onde constituem o componente mais abundante. Como

minerais acessórios ocorrem apatite e opacos (possivelmente magnetite). Observaram-se também grãos de materiais soltos de natureza piroclástica, heterométricos, de cor ocre a castanho, com fenocristais de piroxenas e de anfíbolos subarredondados com 5 a 7 mm, alterados nos seus bordos. A granulometria compreende tamanhos sub-centimétricos (lapilli) a sub-milimétricos (cinzas). São muito abundantes os óxidos de ferro, preenchendo vacúolos ou minerais alterados. Estas características permitem explicar o comportamento friável a pouco compacto das Brechas hialoclastíticas e estado de alteração moderadamente a muito alterado.

Os Basaltos olivínicos são materiais granulares de cor cinzenta intermédias, com dimensão média dos grãos entre 0,4 e 0,8 mm e máxima de 1,5 mm. Apresentam cristais angulosos isolados e aglomerados microcristalinos, sendo os principais componentes mineralógicos plagioclases, clinopiroxenas e opacos. As plagioclases constituem os fenocristais mais abundantes, subidiomórficos a alotriomórficos, geralmente muito alterados; ocorrem igualmente em microaglomerados em conjunto com clinopiroxenas. As clinopiroxenas apresentam fenocristais subidiomórficos de tamanho milimétrico e poiciliticos, ou agregados microcristalinos. No primeiro caso, encontram-se bastante fracturados e alterados, sobretudo nos bordos, onde se observa iddingsite, possivelmente de natureza augítica. Os opacos são grãos arredondados ou de hábito poligonal, tratando-se possivelmente de magnetite. Como componentes secundários encontram-se as olivinas (alteradas para iddingsite), apatite, zeólitos e fragmentos de vidro. As olivinas são muito escassas em grãos subidiomórficos e completamente alterados para iddingsite. A apatite apresenta-se em escassos microfenocristais incluídos nas clinopiroxenas. Os zeólitos presentes originaram-se por alteração dos minerais anteriores. Os fragmentos de vidro vulcânico são de cor castanha clara brilhante angulosos e alterados para iddingsite. Estas características permitem explicar o comportamento da unidade com diferentes competências apresentando uma elevada heterogeneidade quanto à percussão ao martelo, respondendo de forma friável a medianamente compacta e são pouco a muito alterados.

A amostra de Fonólitos e traquitos brechificados apresenta-se macroscopicamente como material solto de cor cinzenta a esbranquiçada, com textura granular grosseira. O tamanho médio dos grãos é de 1,5 a 2 mm e o tamanho máximo de 15 mm. Trata-se de piroclastos formados por fragmentos angulosos de rochas vulcânicas. A composição mineralógica é constituída por plagioclases e opacos, não muito numerosos.

As plagioclases são os microfenocristais mais abundantes, subidiomórficos, maclados e com hábito tabular. Os opacos são os fenocristais de maior tamanho, arredondados ou de hábito poligonal, subidiomórficos, podendo formar agregados. Observam-se outros fenocristais, com hábito poligonal e completamente alterados para iddingsite, que poderão corresponder a clinopiroxenas. Como componentes secundários, encontram-se zeólitos e fragmentos de vidro. Os zeólitos resultam da alteração dos minerais anteriores, especialmente nos seus bordos. Os fragmentos de vidro vulcânico, de cor castanha clara apresentam alteração para iddingsite. Estas características mineralógicas reflectem-se no comportamento dos materiais nomeadamente no estado de alteração muito a completamente alterado e comportamento friável quando aplicado a percussão ao martelo.

A amostra dos Basaltos com disjunção colunar apresenta textura granular, de cor cinzenta escura. O tamanho médio dos grãos é de 0,8 a 1 mm e o tamanho máximo de 2 mm. Apresenta materiais sub-angulosos a sub-arredondados de rochas vulcânicas, de

natureza piroclástica. Os principais minerais presentes são as plagioclases e os opacos, sendo as plagioclases os microfenocristais mais abundantes, subidiomórficos, com hábito acicular, sendo igualmente o principal constituinte da matriz. Os opacos são idiomórficos a subidiomórficos, constituindo os fenocristais de maior dimensão, com hábito hexagonal. Ocorrem também como micrólitos dentro da matriz, correspondendo possivelmente a magnetite. Como componentes secundários observam-se clinopiroxenas e fragmentos de vidro. As clinopiroxenas aparecem como microfenocristais subidiomórficos, tratando-se possivelmente de augite. Os fragmentos de vidro vulcânico são esporádicos, de cor castanha. Os materiais piroclásticos apresentam textura microcristalina, sendo cinzas de grão grosseiro, de composição traquítica-fonolítica. Estas características permitem explicar o comportamento são ou fresco dos materiais e o estado compacto a muito compacto.

Através de técnicas de difracção de raios-X foi possível proceder nas diferentes amostras à identificação dos minerais principais secundários e acessórios que constam da tabela 5.68. A augite surge como o constituinte mineral mais importante nas brechas hialoclastíticas e nos Basaltos olivínicos, enquanto a albite domina nos Fonólitos e traquitos (onde também pode ocorrer ortoclase) e nos Basaltos com disjunção colunar. Para além de argilas, algumas amostras revelam a presença de micas, zeólitos, fluorapatite, anortite, tridimite, hematite e goetite, para além da mais corrente tremolite.

Tabela 5.68 - Resultados da análise por difracção de Raios-X da constituição mineralógica das amostras.

Unidade lítica	Mineral principal	Minerais secundários	Minerais acessórios
Brechas hialoclastíticas	Augite	Tremolite, esmectite	Tridimite
Basaltos olivínicos	Augite	Anortite	Goetite, Mica (Annite), Fluorapatite
Fonólitos e traquitos brechificados	Albite, Ortoclase	Mica (Annite), Montemorilonite	Hematite
Basaltos com disjunção colunar	Albite	Zeólito (Analcima), Fluorapatite	Ilite, Ankerite

Na tabela 5.69 apresentam-se análises químicas de elementos maiores referentes às quatro amostras representativas seleccionadas, realizadas pelo IGME. O conteúdo em SiO₂ indicia que as Brechas hialoclastíticas, os Basaltos olivínicos e os Basaltos com disjunção colunar são de natureza ultra-básica, sendo os Fonólitos e os Traquitos brechificados de natureza básica. É ainda de realçar o elevado conteúdo em voláteis de todas as amostras, salientando-se em particular as brechas hialoclastíticas, bem como os elevados conteúdos em fósforo dos Fonólitos e traquitos brechificados e dos Basaltos com disjunção colunar. Esta variação permite explicar as variações *in situ* e o comportamento das unidades em ento face à resistência e à alteração.

Tabela 5.69 - Resultados das análises de elementos maiores (%). Ferro total na forma de Fe_2O_3 ; PI corresponde à perda por ignição.

Unidade lítica	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	MnO	K_2O	MgO	P_2O_5	Na_2O	PI
Brechas hialoclastíticas	37,59	13,12	12,29	13,69	4,24	0,18	0,84	4,91	0,51	0,93	11,71
Basaltos olivínicos	41,07	12,68	15,22	11,66	3,35	0,19	0,45	9,98	0,56	1,02	3,82
Fonólitos e traquitos brechificados	49,22	16,84	9,09	4,31	4,24	0,10	3,64	2,42	1,50	3,07	5,57
Basaltos com disjunção colunar	42,78	13,57	15,48	10,06	3,82	0,23	1,30	4,77	1,70	3,46	2,84

O diagrama TAS é um sistema de classificação das rochas magmáticas utilizado para identificar muitos tipos comuns de rochas vulcânicas, baseado na comparação do teor ponderal (%) total dos óxidos de sódio e potássio (os alcalis totais: $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) com o teor ponderal (%) de sílica (SiO_2).

Segundo o diagrama TAS reproduzido na figura 5.25, as Brechas hialoclastíticas correspondem a rochas alcalinas, projectando-se no campo dos Foidaítos, os Basaltos olivínicos a rochas subalcalinas, projectam-se no campo dos Picrobasaltos, os Fonólitos e Traquitos brechificados a rochas alcalinas, projectando-se no campo dos Hawaitos, e finalmente os Basaltos com disjunção colunar a rochas alcalinas, projectam-se no campo dos Tefritos-Basanitos, o que é corroborado por Barker *et al.* (2009a).

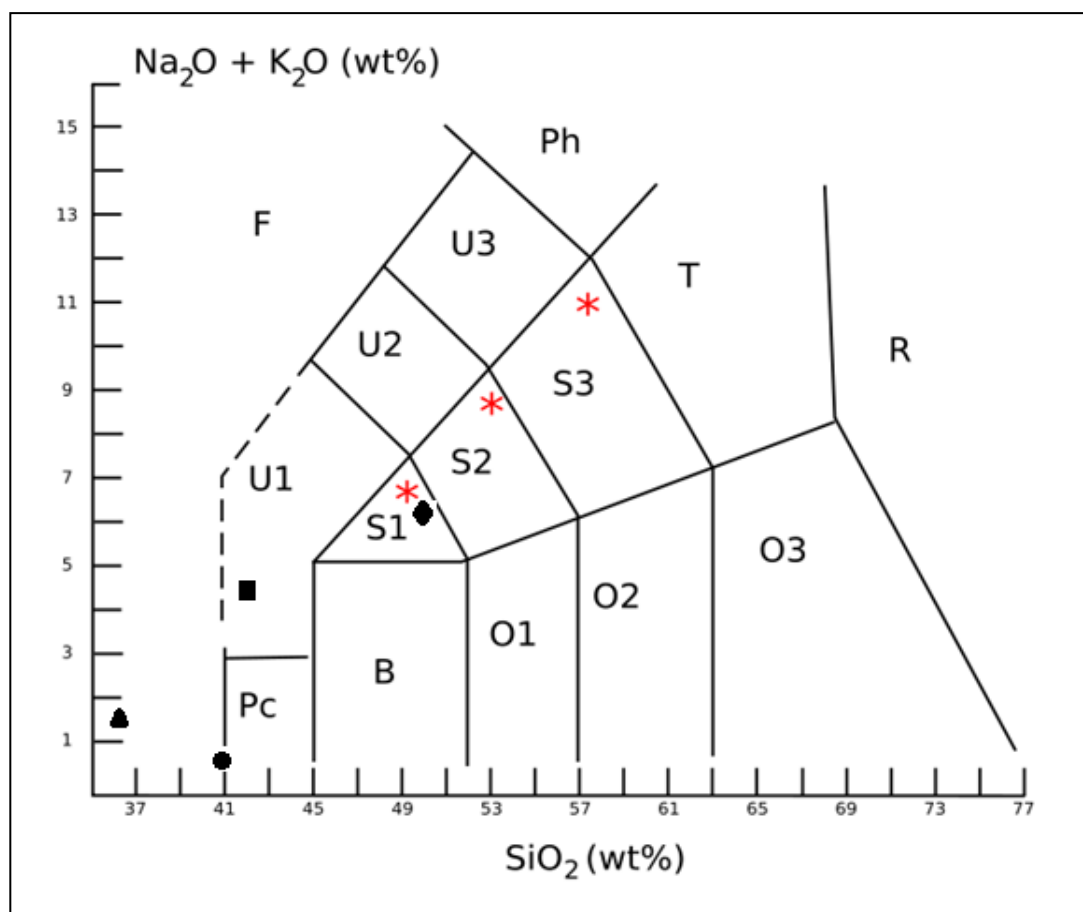


Figura 5.25 - Diagrama de Le Bas *et al.* (1986); Le Maitre *et al.* 2002; as linhas a tracejado separam as rochas alcalinas (campo superior) das sub-alcalinas (segundo Rickwood, 1989). B (Basalto) (a subdividir usando a mineralogia normativa correspondente); O1 (Andesito basáltico); O2 (Andesito); O3 (Dacito); R (Riolito); T (Traquito ou traquidacito) (consoante a mineralogia normativa correspondente); Ph (Fonólito); S1 (Traquibasalto), *as variantes sódica e potássica são o hawaíto e o traquibasalto potássico; S2 (Traquiandesito basáltico), *as variantes sódica e potássica são o mugarito e o soshonito; S3 (Traquiandesito), *as variantes sódica e potássica são o benmoreito e o latito; Pc (Picrobasalto); U1 (Basanita ou Tefrito) (consoante a mineralogia normativa correspondente), U2 (Fonotefrito); U3 (Tefrifonólito); F (Foidaito) (a denominar quando possível consoante o feldspatóide dominante). Os melilitos também correspondem a esta área, podendo ser distinguidos por critérios químicos adicionais).

♦ Fonólitos e Traquitos brechificados; ■ Basaltos com disjunção colunar; ● Basaltos olivínicos; ▲ Brechas hialoclastíticas.

Na tabela 5.70 apresentam-se os resultados obtidos para a concentração de um conjunto alargado de 37 elementos traço nas mesmas amostras.

Tabela 5.70 - Resultados obtidos para a concentração de um conjunto alargado de 37 elementos traço.

Unidade litológica	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	
Limite detecção	2,4	2,7	1,5	2,4	1,0	1,3	0,5	0,5	1,0	2,6	1,0	0,8	0,3	0,4	0,4	0,4	1,0	1,0	
Brechas hialoclastíticas	21,0	326,0	95,0	47,0	78,0	51	125	22	1,0	7,0	<LD	1,0	34,0	844	33,0	388,0	110	3,0	
Basaltos olivínicos	25,0	328,0	548	62,0	280,0	69,0	103,0	21,0	<LD	<LD	10,0	7,0	701	23	281	71,0	1,7	25,0	
Fonólitos e traquitos brechificados	11,0	329,0	45,0	16,0	35,0	23,0	154,0	31,0	<LD	<LD	<LD	99,0	1404,0	48,0	793,0	197,0	3,3	11,0	
Basaltos com disjunção colunar	9,0	145,0	18,0	21,0	6,0	6,0	136,0	19,0	3,4	<LD	1,8	52,0	1518,0	34,0	332,0	89,0	2,9	9,0	
Unidade litológica	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Hf	Ta	W	Au	Ti	Pb	Bi	Th	U
Limite detecção	10,0	2,1	2,3	3,9	6,0	8,4	5,0	10,0	6,1	7,2	2,8	2,4	2,2	0,1	1,6	1,1	1,0	1,5	1,2
Brechas hialoclastíticas	<LD	4,2	<LD	6,8	<LD	981,0	77,0	148,0	85,0	10,0	8,0	12,3	5,9	<LD	<LD	2,4	1,9	4,8	3,4
Basaltos olivínicos	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	816,0	70,0	93,0	8,0	5,7	<LD	<LD	<LD	<LD	5,0	2,0	<LD	<LD	<LD
Fonólitos e traquitos brechificados	<LD	5,4	<LD	<LD	<LD	1308,0	169,0	260,0	19,0	12,2	17	<LD	6,0	<LD	13,0	7,0	<LD	5,4	<LD
Basaltos com disjunção colunar	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1293,0	103,0	152,0	8,0	<LD	9	<LD	4,0	<LD	7,0	7,0	<LD	<LD	<LD

Os Fonólitos e traquitos brechificados apresentam composição muito semelhante à dos basaltos com disjunção colunar, sendo estas unidades líticas as mais evoluídas geoquimicamente de entre o conjunto estudado com os teores de Cr, Co, Cu, Ni e Sr mais reduzidos e os de Rb, Ba e REE mais elevados. As brechas hialoclastíticas são as que apresentam composição mais básica, traduzida nas mais elevadas concentrações de elementos compatíveis e nas menores dos elementos incompatíveis, situando-se os basaltos olivínicos em posição intermédia relativamente às restantes unidades líticas.

No diagrama discriminante da figura 5.26 (Mullen, 1983) projectam-se as relações MnO , P_2O_5 e $TiO_2/10$ para as amostras estudadas. Verifica-se que as diferentes unidades litológicas se situam em campos distintos, com os Basaltos com disjunção colunar e os Basaltos olivínicos apresentando filiação em ambiente de arco insular toleítico, enquanto as Brechas hialoclastíticas se identificam com basaltos do tipo MORB (basaltos da crista média oceânica). Os Fonólitos e traquitos brechificados apresentam características de arcos insulares calco-alcalinos.

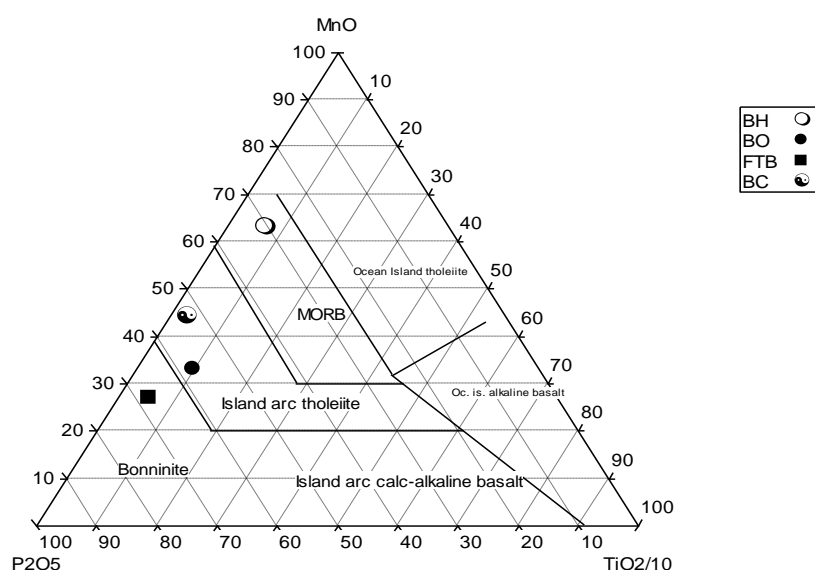


Figura 5.26 - Diagrama de classificação da origem das rochas segundo Mullen (1983).

No seu conjunto, os dados geoquímicos não apresentam uma tendência clara relativamente ao possível mecanismo de formação da ilha.

Pinto (2010) efectuou estudos geoquímicos extensivos das diversas formações da ilha de Santiago. De acordo com a autora, o Complexo Antigo (CA) e a Formação Pico da Antónia (PA) apresentam dois grupos distintos, um deles com teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ compreendidos entre 9,89 e 18,40% e outro grupo com teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ a variar de 1,70 % a 5,97%. Estes dois grupos correspondem a rochas basálticas-basaníticas e a rochas fonolíticas-traquíticas, respectivamente. As rochas fonolíticas-traquíticas do CA são na generalidade mais ricas em K_2O , Na_2O , Rb, Zr, Hf, Th, U e REE e mais pobres em Sc, Cr e Co do que as rochas basálticas-basaníticas da respectiva formação. Contudo mostram teores semelhantes de Zn e Ga. São as rochas geoquimicamente mais evoluídas da ilha de Santiago. As rochas de Flamengos mostram tendência para ser as mais pobres em Na_2O , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, Hf, Ta e as mais ricas em Sc e Cr, indicando que são as rochas menos evoluídas da ilha de Santiago.

5.4 Resultados dos dados da radioactividade natural

5.4.1 Introdução

As partículas emitidas nos processos de desintegração radioactiva constituem radiação ionizante, atendendo a que ao interagirem com a matéria têm capacidade para deslocar electrões das orbitais atómicas, transformando assim átomos neutros em iões (Neves & Pereira, 2004). Devido a este facto, a radioactividade natural tem recebido alguma atenção por parte dos organismos internacionais, com emissão de recomendações para protecção da população em geral, de que são exemplo os relatórios da Academia de Ciências dos EUA (BEIR VI, 1998) e da Organização Mundial de Saúde (UNSCEAR, 2000).

No âmbito da radiocatividade natural, destaca-se o gás radão, um gás nobre não reactivo, mais denso que o ar. Apresenta três isótopos principais, gerados nas cadeias de decaimento de ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th , os quais se designam, respectivamente, por radão (^{222}Rn), actinão (^{219}Rn) e torão (^{220}Rn), com meias-vidas de 3,8 dias, 55s e 4s. O único isótopo com mobilidade significativa nos sistemas geológicos, devido à sua mais longa meia-vida, é o ^{222}Rn , o qual é designado pelo mesmo nome que o elemento químico. A elevada dose de radiação ionizante associada ao radão (BEIR VI, 1998; UNSCEAR, 2000) justifica que sobre este gás se centre alguma atenção em protecção radiológica, em especial no que respeita ao isótopo com maior mobilidade (^{222}Rn ; *in* Neves & Pereira, 2004); este ocorre em concentrações variáveis nas rochas, solos e nas águas, tendendo a concentrar-se em habitações, em particular nos pisos inferiores (Pereira *et al.* 2001; 2003).

5.4.2 Concentração de elementos radiogénicos nas rochas

A radioactividade presente nas rochas relaciona-se com a presença de concentrações variáveis de U, Th e K. Estes elementos relacionam-se intimamente com a composição mineralógica e a evolução dos diferentes tipos rochas, tendo por conseguinte também algum valor discriminante em petrologia (Whitfield *et al.* 1959; Rogers e Ragland, 1961; Doventon e Prenskey, 1992; *in* Anjos *et al.* 2005). O urânio e tório ocorrem frequentemente associados a minerais acessórios como monazite, alanite, uraninite, torite, apatite e zircão, entre outros, podendo o urânio ocorrer igualmente adsorvido na fracção argilosa eventualmente presente. O urânio tende a apresentar elevada mobilidade nos sistemas geológicos superficiais, dada a solubilidade de muitos dos seus suportes mineralógicos bem como o seu comportamento geoquímico intrínseco.

Ao invés, o tório apresenta em geral escassa mobilidade, sendo as mais das vezes concentrado por processos de transporte mecânico em rochas sedimentares, ou por diferenciação gravítica em rochas ígneas (cumulatos).

Em rochas ígneas, objecto do presente trabalho, o tório e o urânio tendem a apresentar concentrações mais elevadas em rochas félsicas, de maior alcalinidade e acidez, comportamento que também é verificado em parte com o potássio, preferencialmente relacionado com minerais como por exemplo os feldspatos e as micas. Alguns autores têm utilizado o K na petrogénese de séries basálticas (Best, 2003).

Através de um sistema de espectrometria de raios gama Ortec, com detector de NaI(Tl) de 3 polegadas, foi estimada a concentração dos elementos radiogénicos naturais U, Th e K a partir das actividades de Bi^{-214} , Th^{-208} e K^{-40} , respectivamente, em diversas amostras representativas das diferentes unidades litológicas cartografadas na área de trabalho, apresentando-se os resultados globais na tabela 5.71 e os resultados estatísticos fundamentais por unidade geológica (média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação) na tabela 5.72.

Tabela 5.71 - Concentração dos elementos radiogénicos U, Th e K.

Amostra	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K ⁴⁰ (Bq/kg)	Bi ²¹⁴ (Bq/kg)	Tl ²⁰⁸ (Bq/kg)	Formação Geológica	Unidade Litológica	Designação	Local
R6	1,36	3,7	11,5	353,2	45,9	46,6	CA - Complexo finoniano	Mantos e filões Básicos e ultra-básicos	MFB UB	Bela Vista
R14	3,50	2,1	10,7	907,7	26,0	43,6	CA - Fonólitos e traquitos	Fonólitos e traquitos brechificados	FTB	Pensamento
R13	2,82	1,0	0,9	730,4	12,3	3,8	CA - Carbonatitos	Carbonatitos ígneos	C	Simão Ribeiro
R3	3,87	1,4	1,5	1.002,9	17,1	5,9	CA - Gabros e Sienitos	Gabros olivínicos e sienitos feldspatóidicos	GS	Simão Ribeiro
R5	0,90	1,0	4,6	232,8	12,6	18,9	Formação dos Flamengos (FL)	Brechas hialoclastíticas	BH	Chã de Areia
R21	1,93	1,2	3,0	500,2	14,5	12,2	Formação dos Flamengos (FL)	Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular	DB	Sul Monte ilhéu
R9	1,17	1,2	5,1	302,5	14,4	20,6	Formação dos Flamengos (FL)	Chaminés escoadas basálticas com disjunção tubular	DB	Ribeira do Palmarejo Grande
R8	0,39	1,1	7,3	101,9	13,2	29,6	Formação dos Flamengos (FL)	Brechas hialoclastíticas litificadas	BHL	Prainha
R2	2,00	2,7	4,4	517,7	32,8	17,8	F. Flamengos (FL)	Brechas hialoclastíticas litificadas	BHL	Cova Figueira
R23	1,72	1,6	7,2	445,9	20,2	29,3	PA submarino (LR)	Basaltos vesiculares em rolos	BVR	Cova Minhoto
R1	0,78	1,0	4,4	201,3	12,7	17,7	PA submarino (LR)	Basaltos vesiculares em rolos	BVR	Oeste de Cova Figueira
R11	1,45	2,4	3,1	376,4	29,4	12,6	PA submarino (LR)	Basaltos maciços em rolos com carbonatos	BMR C	Quebra-Canela
R12	1,18	1,2	4,7	305,5	14,7	19,2	PA submarino (LR)	Basaltos maciços em rolos	BMR	Ribeira do Palmarejo Pequeno
R18	0,95	3,4	8,4	246,5	41,4	34,1	PA subaéreo	Basaltos maciços	BM	Monte Babosa
R32	0,64	2,2	5,3	166,5	27,3	21,5	PA subaéreo	Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli	BP	Chão de Lemão
R10	1,07	1,3	3,1	278,1	15,8	12,4	PA subaéreo	Basaltos vesiculares inferiores	BVI	Ponta Preta
R17	0,96	0,9	3,1	248,8	11,0	12,7	PA subaéreo	Basaltos vesiculares inferiores	BVI	Achada Furada

Continuação da tabela 5.71										
R7	0,26	0,9	3,7	66,4	10,7	14,8	PA subaéreo	Basaltos com disjunção colunar	BC	Ribeira do Palmarejo Pequeno
R4	1,23	0,7	4,2	319,1	8,7	17,1	PA subaéreo	Basaltos com disjunção colunar	BC	Ponta Preta
R15	1,26	1,3	4,5	325,6	16,4	18,3	PA subaéreo	Basaltos com disjunção colunar	BC	Oeste de Cova Figueira
R33	2,38	2,3	8,6	616,3	28,9	35,1	PA subaéreo	Basaltos com disjunção colunar	BC	Achada baixo
R28	1,33	1,4	4,8	343,8	16,8	19,6	PA subaéreo	Basaltos com disjunção colunar	BC	Achada baixo
R25	1,02	1,4	4,7	265,5	17,1	19,1	PA subaéreo	Basalto com disjunção esferoidal	BE	Achada Furada
R27	1,34	1,7	4,4	347,4	21,4	18,0	PA subaéreo	Basaltos vesiculares intermédios	BVM	Achada do Palmarejo
R20	0,69	0,4	3,4	178,2	4,4	13,9	PA subaéreo	Basaltos amigdalóides	BA	Circular N/Rba de Laranjo
R26	0,37	3,0	4,9	96,2	36,5	19,8	PA subaéreo	Basaltos olivínicos	BO	Achada São Felipe
R19	1,34	2,1	4,6	347,5	25,7	18,7	PA subaéreo	Basaltos vesiculares superiores	BVS	Estrada Hospital da Trindade
R16	1,50	2,5	5,3	388,8	31,2	21,4	Monte das Vacas (MV)	Depósitos de lapilli estratificados	DLE	Monte Vermelho
R22	1,50	1,3	5,6	389,6	16,1	22,9	Monte das Vacas (MV)	Depósitos de lapilli litificados	DLL	Monte Vermelho
R24	2,56	2,1	5,5	662,8	25,4	22,2	Monte das Vacas (MV)	Depósitos escoriáceos grosseiros	DEG	Monte Vermelho

Tabela 5.72 - Parâmetros estatísticos dos elementos radiogénicos para cada uma das Formações Geológicas.

Valores/ Complexos Vulcânicos	CA			FF			PA			MV		
	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Média	2,9	2,0	6,2	1,3	1,4	4,9	1,1	1,7	4,8	1,9	1,9	5,4
Mínima	1,4	1,0	0,9	0,4	1,0	3,0	0,3	0,4	3,1	1,5	1,3	5,3
Máxima	3,9	3,7	11,5	2,0	2,7	7,3	2,3	3,4	8,6	2,6	2,5	5,6
Desvio Padrão	1,1	1,2	5,7	0,4	0,6	1,7	0,5	0,8	1,7	0,6	0,6	0,2
Coef. Variação %	38,0	58,0	93,0	31,0	43,0	35,0	44,0	48,0	34,0	33,0	31,0	28,0

Os dados são ainda projectados sob forma gráfica na figura 5.27. Da análise das tabelas e da figura verifica-se que a maioria das unidades litológicas apresenta composição similar para o conjunto dos elementos radiogénicos, destacando-se de forma mais notória apenas os carbonatitos ígneos e os Gabros olivínicos e sienitos feldspatóides, mais ricos em K₂O e mais pobres em Th do que no caso das restantes unidades.

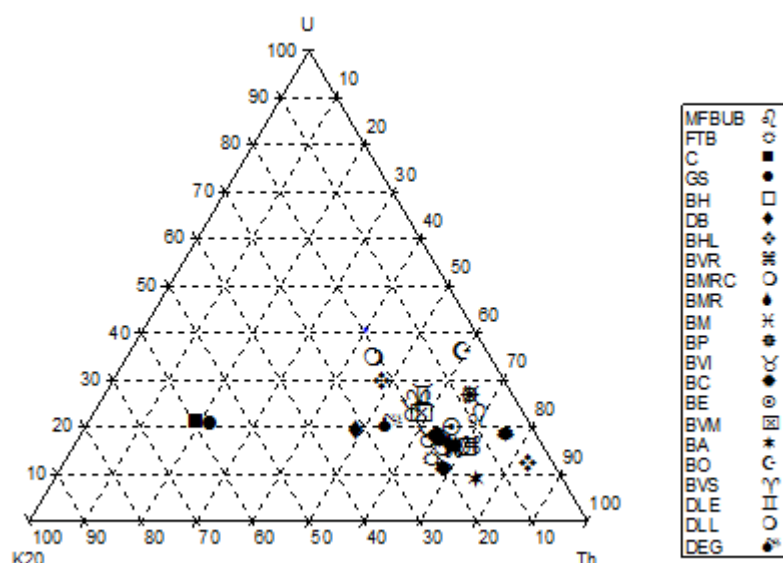


Figura 5.27 - Projeção dos elementos radiogénicos das diferentes Unidades litológicas.

Os teores de U são em geral inferiores à média da crosta continental superior (2,8 ppm, Taylor & McLennan, 1985), com a excepção das amostras R6, R18 e R26, que denotam as concentrações marginalmente mais elevadas, entre 3,0 e 3,7 ppm. No que se refere a Th, observa-se padrão idêntico, com valores em geral inferiores aos da média da crosta continental superior (10,7 ppm; Taylor & McLennan, 1985), à excepção das amostras R6 e R14, ambas do CA, que igualam ou superam marginalmente esse valor médio (10,7 a 11,5 ppm). No caso de K_2O , verifica-se padrão idêntico, sendo apenas superada de forma marginal a concentração média da crosta continental superior (3,4%; Taylor e McLennan, 1985) no caso das amostras R3 e R14, ambas do CA (3,5 a 3,9%).

Numa análise por amostra, de acordo com a figura 5.28, constata-se que as Brechas hialoclastíticas litificadas da Prainha (amostra R8) são diferentes em composição das Brechas hialoclastíticas litificadas da Cova Figueira (amostra R2), ocorrendo o mesmo, ainda que de forma não tão notória, entre as Chaminés escoadas basálticas com disjunção tubular do Sul de Monte ilhéu (amostra R21) em relação às Chaminés escoadas basálticas com disjunção tubular da Ribeira de Palmarejo Grande (amostra R9).

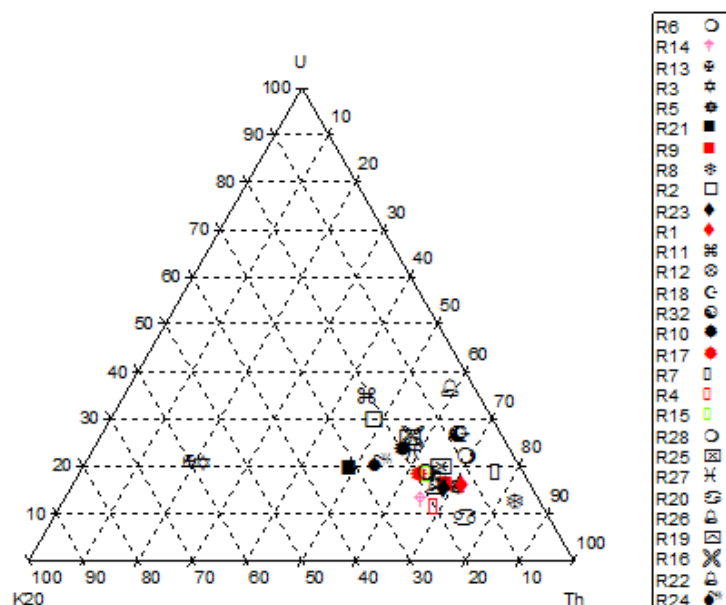


Figura 5.28 - Projecção dos elementos radiogénicos das diferentes amostras.

Na figura 5.29 projectam-se os valores médios obtidos para as Formações Geológicas propostas por Serralheiro (1976) mais representadas: CA, FL, LR, PA e MV. Do gráfico conclui-se, conforme já anteriormente referido, pela relativa semelhança composicional entre as formações referidas.

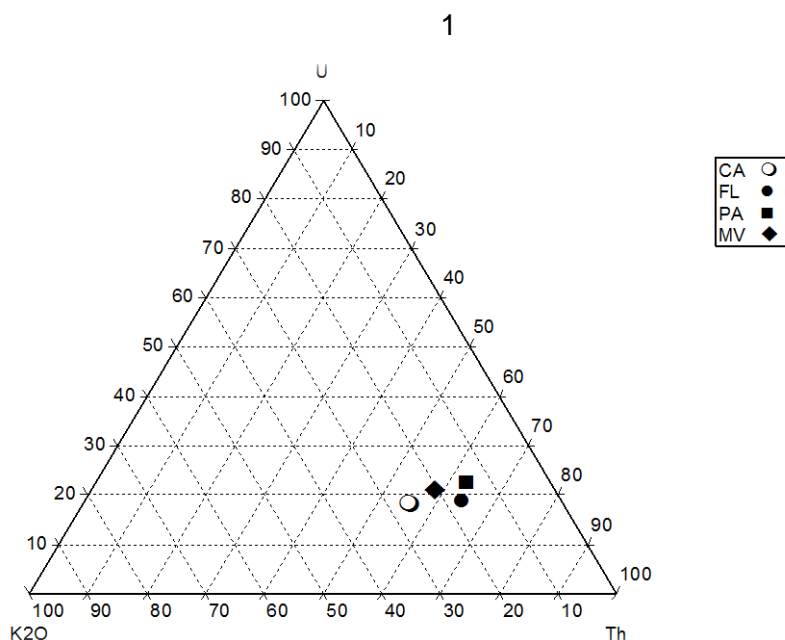


Figura 5.29 - Projecção dos elementos radiogénicos (valores médios) das diferentes Formações Geológicas.

A projecção das amostras com identificação da formação geológica em que se integram, efectuada na figura 5.30, mostra a existência de uma variabilidade composicional semelhante para as principais formações, motivo pelo qual os valores médios se aproximam

bastante. Essa variabilidade é essencialmente controlada por variações da relação U/Th, com escassa participação de K. Destacam-se apenas duas amostras do CA, conforme já referido, pela maior riqueza em K₂O, o que estará associado à sua natureza lítica (sienitos/traquitos).

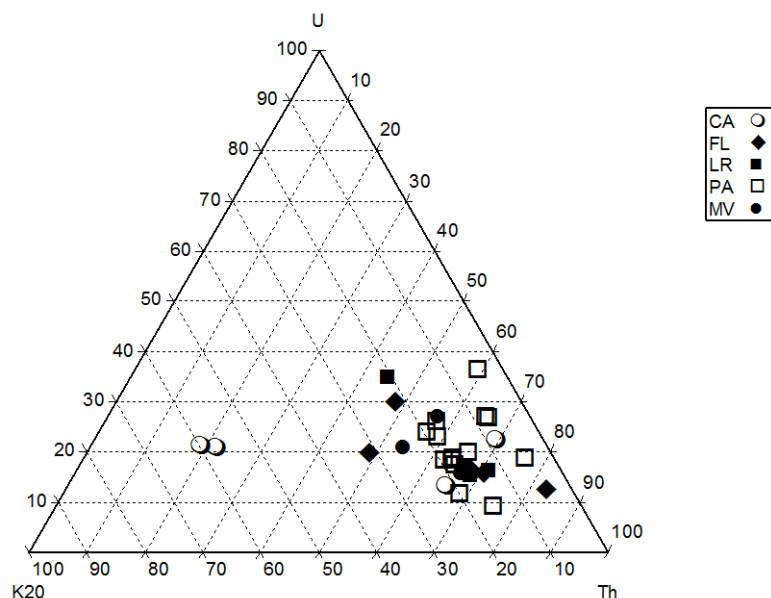


Figura 5.30 - Projecção dos elementos radiogénicos das diferentes Formações Geológicas.

Apresenta-se de seguida a tabela 5.73, comparativa dos valores médios obtidos para as principais formações geológicas neste estudo e por Pinto (2010), de onde se pode concluir por uma elevada concordância entre resultados.

Tabela 5.73 - Parâmetros estatísticos dos elementos radiogénicos nas principais Formações Geológicas estudadas no presente trabalho e por Pinto (2010).

Valores radiométricos médios	Pinto (2010)			Este trabalho		
	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	U (ppm)	Th (ppm)
Formação Geológica						
Complexo Eruptivo, Interno, Antigo (CA)	2,1	2,8	6,3	2,9	2,1	6,2
Formação dos Flamengos (FL)	1,4	1,4	4,8	1,3	1,4	4,9
Complexo Eruptivo do Pico de Antónia (PA)	1,5	1,4	6,1	1,1	1,7	4,8
Formação do Monte das Vacas (MV)	2,1	1,2	5,2	1,9	2,0	5,5

5.4.3 Concentração do gás radão em edifícios

As concentrações do gás radão (²²²Rn) em edifícios são controladas por factores geológicos, como as concentrações de U nas rochas e solos e sua permeabilidade, bem como associados à tipologia construtiva dos edifícios e de carácter meteorológico (Neves &

Pereira, 2004). O radão acumulado no interior dos edifícios pode ter também origem nos materiais de que estes são construídos e na água que neles se consome, embora estes factores sejam na maioria dos casos secundários (Pereira *et al.* 2003, 2004; Neves & Pereira, 2004).

Para avaliação das concentrações de radão em habitações da cidade na Praia foram colocados 43 detectores do tipo CR39, com tempo de exposição médio de 2 meses, tendo os trabalhos decorrido no verão de 2010.

As tabelas 5.74 e 5.75 reproduzem os resultados obtidos para a concentração de radão nas habitações. Conforme expectável, as concentrações são relativamente baixas, apresentando média de 39 Bq.m^{-3} , com mínimo de 7 Bq.m^{-3} e máximo de 93 Bq.m^{-3} . O cálculo das concentrações médias por unidade litológica mostra grande semelhança dos valores, não se distinguindo por conseguinte alguma litologia em particular no que respeita ao potencial de transmissão de radão para as habitações, o que está de acordo com a semelhança composicional observada para as diferentes unidades litológicas.

Os resultados obtidos quando comparado por exemplo, com os observados em áreas sedimentares como é o caso da região de Coimbra (Neves & Pereira, 2004) mostram valores semelhantes. A explicação para este facto reside nos baixos teores de urânio do substrato geológico, bem como na tipologia construtiva das habitações e nas condições climáticas locais, propícias à elevada ventilação do ar interior.

De acordo com a Comissão da Comunidade Europeia emitiu em 1990 uma recomendação em que indica o valor limite de 400 Bq.m^{-3} como média anual da concentração de radão no interior das habitações já construídas e de 200 Bq.m^{-3} para habitações a construir (Neves *et al.* 1996; Pereira *et al.* 1999). Os valores obtidos para a Cidade da Praia não excedem o previsto nesta recomendação.

Tabela 5.74 - Valores da concentração do gás radão em habitações da Cidade da Praia.

Nº Detector	Bq.m ⁻³	Local	Formação Geológica	Unidade Litológica
P51050	20	Sucupira-Fazenda	SR	Depósitos aluvionares
P51046	24	Várzea Velho	SR	Depósitos aluvionares
P51082	33	Achadinha baixo	SR	Depósitos de cascalheiras
P51059	33	Terra Branca	SR	Depósitos de cascalheiras
P51069	13	Bairro Craveiro Lopes	SR	Depósitos de cascalheiras
P74344	60	Chã de Areia	SR	Depósitos aluvionares
P74322	54	Palmarejo-Monte Vermelho	MV	Depósitos de lapilli estratificados
P74324	51	Palmarejo-Monte Vermelho	MV	Depósitos de lapilli estratificados
P51067	9	Palmarejo Grande	MV	Depósitos de lapilli estratificados
P74335	59	Palmarejo-Monte Vermelho	MV	Depósitos de lapilli estratificados
P51043	31	Santiago GR-Achada do Palmarejo	PA	Basaltos vesiculares superiores
P74320	25	Eugénio Lima	PA	Basaltos vesiculares superiores
P59601	45	Eugénio Lima	PA	Basaltos vesiculares superiores
P51056	31	Eugénio Lima	PA	Basaltos vesiculares intermédios
P51042	16	Achada Furada - Cidadela	PA	Basaltos com disjunção esferoidal
P51044	21	Achada Furada - Cidadela	PA	Basaltos com disjunção esferoidal

Tabela 5.75 - Valores da concentração do gás radão em habitações da Cidade da Praia- *continuação*.

P74338	92	Palmarejo	PA	Basaltos com disjunção esferoidal
P51054	48	Achada Furada-Cidadela	PA	Basaltos com disjunção colunar
P59592	43	Achada Santo António	PA	Basaltos com disjunção colunar
P51058	34	Palmarejo	PA	Basaltos com disjunção colunar
P51072	35	Achada de Santo António	PA	Basaltos com disjunção colunar
P51078	46	Palmarejo	PA	Basaltos com disjunção colunar
P51053	7	Palmarejo	PA	Basaltos com disjunção colunar
P51071	22	Palmarejo Grande	PA	Basaltos com disjunção colunar
P51060	36	Achada São Felipe	PA	Basaltos olivínicos
P51065	41	Achada São Felipe	PA	Basaltos olivínicos
P51052	43	Monte Babosa	PA	Basaltos maciços
P51061	26	Palmarejo Grande	LR	Basaltos vesiculares em rolos
P51074	42	Terra Branca	λp	Brechas hialoclastíticas
P74323	86	Tira-Chapéu	λp	Brechas hialoclastíticas
P51051	43	Cova Minhoto	λp	Brechas hialoclastíticas litificadas
P51077	34	Achadinha-pé do monte	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P51079	25	Pensamento	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P51080	26	Eugénio Lima	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P74331	38	Monte Babosa	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P74332	43	Bela Vista	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P74340	71	Eugénio Lima	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P74348	56	Bela Vista	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P51041	39	Eugénio Lima	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P74349	40	Bela Vista - Alto da Glória	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P59614	34	Terra Branca	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P74347	93	Tira-Chapéu	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos
P51049	16	Safende	CA	Mantos e filões básicos e ultra-básicos

5.4.4 Dose por exposição à radiação ionizante

Tendo em conta a fraca capacidade de propagação da radiação α e β , esta apenas constitui um risco ambiental para a população em geral quando ocorre inalação de radão, com a consequente irradiação interna dos tecidos pulmonares produzida pelo decaimento deste gás e dos seus descendentes radiogénicos, como polónio, chumbo e bismuto. A dose por exposição à radiação ionizante é desta forma maioritariamente controlada pelo radão inalado, responsável por mais de 50% do valor total, a que acresce uma componente resultante da emissão de radiação gama a partir das rochas e solos e dos materiais de construção, bem como de radiação cósmica, estas em geral pouco expressivas. Em média, os humanos recebem uma dose média anual de radiação ionizante que se estima em *ca.* 2,4 mSv, 85% da qual resultante de factores naturais (UNSCEAR, 2000).

A exposição ao radão tem sido considerada como a segunda causa de cancro do pulmão em avaliações promovidas por instituições internacionais (National Academy of

Sciences, 1998; UNSCEAR, 2000). Em estudo epidemiológico recente foi também encontrada uma associação significativa entre a inalação do gás radão e uma das formas de leucemia infantil (Yoshinaga *et al.* 2005; *in* Pereira *et al.* 2008).

No sentido de estimar as principais componentes de dose por exposição à radiação ionizante natural para a população da cidade da Praia, avaliaram-se as componentes resultantes da radiação gama emitida por rochas e solos, da exposição ao radão e ainda a proveniente da radiação cósmica, cujos resultados se apresentam de seguida.

Para estimar a dose de radiação proveniente das rochas e solos (dose absorvida) utilizou-se um método indirecto, com base na equação proposta por Mehra (2009), a qual utiliza a composição das rochas em termos dos elementos radiogénicos. A dose absorvida assim estimada (D) exprime-se em nGy h^{-1} e equivale à medida com instrumentação apropriada à altura estandardizada de 1 metro acima do solo:

$$D (\text{nGy h}^{-1}) = 0.461 C_{\text{Ra}} + 0.623 C_{\text{Th}} + 0.0414 C_{\text{K}} \quad (5.1)$$

Onde C_{Ra} , C_{Th} e C_{K} são as actividades de Ra, Th e K (Bq.kg^{-1}). Estas actividades foram estimadas com base nas concentrações elementares de U, Th e K referidas na tabela 5.71, assumindo equilíbrio isotópico nas cadeias de decaimento.

Na tabela 5.76 apresentam-se os resultados obtidos por unidade litológica para a dose absorvida. O valor médio global obtido das amostras é de 29 nGy/h , o que corresponde a uma dose absorvida baixa, conforme expectável face à composição das rochas; a máxima dose absorvida é de 65 nGy/h e mínima de 12 nGy/h .

De acordo com os dados da tabela 5.75, as unidades que apresentam maiores doses absorvidas, são respectivamente as unidades dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos, Fonólitos e traquitos brechificados e Depósitos escoriáceos grosseiros de vertente.

Tabela 5.76 – Dose absorvida para as diferentes unidades litológicas (nGyh⁻¹).

Amostra	Unidade litológica	D (nGyh ⁻¹)
R6	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	45,8
R14	Fonólitos e traquitos brechificados	65,9
R13	Carbonatitos ígneos	33,2
R3	Gabros olivínicos e sienitos feldpatoídicos	46,0
R5	Brechas hialoclastíticas	21,9
R21	Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular	28,9
R9	Chaminés escoadas basálticas com disjunção tubular	26,0
R8	Brechas hialoclastíticas litificadas	23,3
R2	Brechas hialoclastíticas litificadas	34,0
R23	Basaltos vesiculares em rolos	37,6
R1	Basaltos vesiculares em rolos	19,9
R11	Basaltos maciços em rolos com carbonatos	24,8
R12	Basaltos maciços em rolos	25,3
R18	Basaltos maciços	33,4
R32	Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli	21,5
R10	Basaltos vesiculares Inferiores	19,9
R17	Basaltos vesiculares inferiores	18,7
R7	Basaltos com disjunção colunar	12,5
R4	Basaltos com disjunção colunar	24,3
R15	Basaltos com disjunção colunar	25,6
R33	Basaltos com disjunção colunar	48,7
R28	Basaltos com disjunção colunar	27,2
R25	Basalto com disjunção esferoidal	23,7
R27	Basaltos vesiculares intermédios	26,6
R20	Basaltos amigdalóides	16,2
R26	Basaltos olivínicos	18,0
R19	Basaltos vesiculares superiores	27,2
R16	Depósitos de lapilli estratificados	30,9
R22	Depósitos de lapilli litificados	31,1
R24	Depósitos escoriáceos grosseiros de vertente	42,4

Os valores estatísticos globais são apresentados na tabela 5.77, para as diferentes Formações geológicas (nGyh⁻¹). Detecta-se o Complexo antigo de base (CA) com valores mais elevados, não se distinguindo significativamente entre si as outras formações geológicas.

Tabela 5.77 - Valores estatísticos globais para as Formações geológicas D (nGy h^{-1}).

Formação Geológica	Nº de amostras	Média	Máxima	Mínima
CA – Complexo antigo de base	4	46	66	32
FL- Formação dos Flamengos	5	27	34	22
LR – Lavas submarinas da Formação do Pico de Antónia	4	27	38	20
PA – Formação do Pico de Antónia	14	25	49	13
MV – Formação do Monte das Vacas	2	31	31	31

Com base nos resultados obtidos para a dose absorvida, estimaram-se as doses efectivas anuais para a população, nas duas componentes ao ar livre e dentro de casa (outdoor e indoor), tomando em conta o valor médio obtido para a dose absorvida ao ar livre, e assumindo valor idêntico dentro das habitações (o que é provável por serem feitas a partir de materiais locais). Para o efeito tomaram-se ainda em conta os coeficientes de conversão recomendados internacionalmente de $0,7 \text{ Sv.Gy}^{-1}$ (Mehra, 2009), bem como uma taxa de ocupação média das habitações de 80% e de 20% de presença ao ar livre:

$$\text{Dose efectiva indoor (nSv)} = (\text{Dose absorvida}) \text{ nGy}^{-1} \times 8760\text{h} \times 0,8 \times 0,7 \text{ SvGy} \quad (5.2)$$

$$\text{Dose efectiva outdoor (nSv)} = (\text{Dose absorvida}) \text{ nGy}^{-1} \times 8760\text{h} \times 0,2 \times 0,7 \text{ SvGy}^{-1} \quad (5.3)$$

Obtiveram-se assim doses efectivas médias de $0,14 \text{ mSv/ano}$ para a componente indoor e de $0,04 \text{ mSv/ano}$ para a componente outdoor, num total de $0,18 \text{ mSv/ano}$. Este valor é significativamente inferior à dose média estimada para a população mundial (UNSCEAR, 2000), que é de $0,50 \text{ mSv/ano}$ nesta componente.

A partir da concentração média do gás radão registada nos edifícios, pode igualmente estimar-se a dose média efectiva induzida pela exposição a este gás para a população, o que se apresenta nas tabelas 5.78 e 5.79.

Tabela 5.78 - Dose efectiva média anual por exposição ao radão no ar interior de edifícios na Cidade da Praia.

Nº Detector	Concentração de radão (Bq.m ⁻³)	Local de Amostragem	Unidade Litológica	Dose efectiva média anual de exposição nas habitações
P51050	20	Sucupira-Fazenda	Depósitos aluvionares	0,79 mSv/a
P51046	24	Várzea Velho	Depósitos aluvionares	0,95 mSv/a
P74344	60	Chã de Areia	Depósitos aluvionares	2,38 mSv/a
P51054	48	Cidadela	Basaltos com disjunção colunar	1,90 mSv/a
P59592	43	Achada Santo António	Basaltos com disjunção colunar	1,70 mSv/a
P51058	34	Palmarejo	Basaltos com disjunção colunar	1,34 mSv/a
P51072	35	Achada Santo António	Basaltos com disjunção colunar	1,38 mSv/a
P51078	46	Palmarejo	Basaltos com disjunção colunar	1,82 mSv/a
P51053	7	Palmarejo	Basaltos com disjunção colunar	0,27 mSv/a
P51071	22	Palmarejo Grande	Basaltos com disjunção colunar	0,87mSv/a
P51042	16	Cidadela	Basaltos com disjunção esferoidal	0,63mSv/a
P51044	21	Cidadela	Basaltos com disjunção esferoidal	0,83mSv/a
P74338	92	Palmarejo	Basaltos com disjunção esferoidal	3,64 mSv/a
P51052	43	Monte Babosa	Basaltos maciços	1,70 mSv/a
P51060	36	Achada São Felipe	Basaltos olivínicos	1,42 mSv/a
P51065	41	Achada São Felipe	Basaltos olivínicos	1,62 mSv/a
P51061	26	Palmarejo Grande	Basaltos vesiculares em rolos	1,03 mSv/a
P51043	31	Santiago GR	Basaltos vesiculares superiores	1,22 mSv/a
P51056	31	Eugénio Lima	Basaltos vesiculares intermédios	1,22 mSv/a
P74320	25	Eugénio Lima	Basaltos vesiculares superiores	0,99mSv/a
P59601	45	Eugénio Lima	Basaltos vesiculares superiores	1,78 mSv/a
P51074	42	Terra Branca	Brechas hialoclastíticas	1,66 mSv/a
P74323	86	Tira-Chapéu	Brechas hialoclastíticas	3,40 mSv/a
P51051	43	Cova Minhoto	Brechas hialoclastíticas litificadas	1,70 mSv/a
P51082	33	Achadinha baixo	Depósitos de cascalheiras	1,30 mSv/a
P51059	33	Terra Branca	Depósitos de cascalheiras	1,30 mSv/a
P51069	13	Bairro Craveiro Lopes	Depósitos de cascalheiras	0,51mSv/a
P51077	34	Achadinha-pé do monte	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	0,13mSv/a
P51079	25	Pensamento	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	0,99mSv/a
P51080	26	Eugénio Lima	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	1,03 mSv/a
P74331	38	Monte Babosa	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	1,50 mSv/a
P74332	43	Bela Vista	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	1,70 mSv/a

Tabela 5.79 - Dose efectiva média anual por exposição ao radão no ar interior de edifícios na Cidade da Praia- *continuação*.

P74340	71	Eugénio Lima	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	2,81 mSv/a
P74348	56	Bela Vista	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	2,22 mSv/a
P51041	39	Eugénio Lima	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	1,54 mSv/a
P74349	40	Bela Vista-alto da Glória	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	1,58 mSv/a
P59614	34	Terra Branca	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	1,34 mSv/a
P74347	93	Tira-Chapéu	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	3,68 mSv/a
P51049	16	Safende	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	0,63mSv/a
P74322	54	Palmarejo-Monte Vermelho	Depósitos de lapilli estratificados	2,14 mSv/a
P74324	51	Palmarejo-Monte Vermelho	Depósitos de lapilli estratificados	2,02 mSv/a
P51067	9	Palmarejo Grande	Depósitos de lapilli estratificados	0,35mSv/a
P74335	59	Palmarejo-Monte Vermelho	Depósitos de lapilli estratificados	2,33 mSv/a

Na tabela 5.80 organizam-se os dados de acordo com a unidade litológica subjacente às habitações. A partir dos dados expostos, pode-se concluir que as habitações/edifícios mais expostos são os que estão implementados nas unidades litológicas das Brechas hialoclastíticas (2,5 mSv/a) e as menos expostas nas Cascalheiras (1,0 mSv/a), situando-se as restantes unidades num pequeno intervalo (1,3 e 1,7 mSv/a).

Tabela 5.80 - Valores estatísticos globais da dose efectiva por exposição ao radão por unidade litológica (mSv/a).

Unidade Litológica	Nº de medições	Média	Máxima	Minima
Mantos e filões básicos e ultra-básicos	12	1,6	3,7	0,1
Brechas hialoclastíticas	2	2,5	3,4	1,7
Basaltos com disjunção colunar	7	1,3	1,9	0,3
Basaltos com disjunção esferoidal	3	1,7	3,6	0,6
Basaltos olivínicos	2	1,5	1,6	1,4
Basaltos vesiculares superiores	4	1,3	1,8	1,7
Depósitos de lapilli estratificados	4	1,7	2,3	0,3
Depósitos de cascalheiras	3	1,0	1,3	0,5
Depósitos aluvionares	3	1,4	2,4	0,8

A média das concentrações de radão medidas é 39 Bq/m^{-3} , a que correspondem 1,54 mSv/ano para uma permanência dentro de casa de 80% do tempo. Este valor situa-se ligeiramente acima da média estimada para a população mundial, a qual é de 1,2 mSv/ano (UNSCEAR, 2000).

Finalmente, tendo em conta a localização da região estudada na proximidade do nível do mar, a componente de dose efectiva resultante da exposição à radiação cósmica pode ser estimada em aproximadamente 0,24 mSv por ano, portanto inferior à média para a população mundial (0,40 mSv/ano, UNSCEAR, 2000). Ao nível do mar a radiação cósmica corresponde a aproximadamente 0,24 mSv por ano. Desta forma, podemos estimar a dose

média proveniente dos raios cósmicos, radiação externa e do radão (Mehra, 2009) em $0,24+0,04+0,14+1,54 = 1,96$ mSv por ano.

Combinando as diversas fontes de exposição à radiação ionizante avaliadas, estima-se em 1,96 mSv/ano a dose efectiva média para os habitantes da cidade da Praia resultante da contribuição da radiação externa, da radiação cósmica e da exposição ao radão, valor este ligeiramente inferior ao estimado para as mesmas componentes para a população mundial (2,1 mSv/ano, UNSCEAR, 2000).

5.5 Síntese dos resultados

Passamos agora a sintetizar os resultados obtidos permitindo uma análise do conjunto e comparativa da natureza e composição das condicionantes *in situ* e das propriedades físicas e mecânicas. A caracterização das unidades litológicas que constituem a base da coluna litológica da área de estudo, transparecem, na tabela 5.81. A análise da mesma, permite salientar:

- O domínio de elementos de granularidade grosseira nos Mantos e filões básicos e ultra-básicos (calhaus com dimensões consideráveis de 30-40 cm);
- A presença de estruturas cónicas, chaminés, filoneanas e alteradas/palagonitizadas nas unidades litológicas de base;
- A baixa espessura dos corpos estratos identificados na unidade Mantos e filões básicos e ultra-básicos (filões com L_2);
- O espaçamento médio das discontinuidades maior na unidade dos Fonólitos e traquitos maciços e Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos (E_5) comparável com a elevada compacidade à percussão e estado de conservação fresco ou são, e resistência à compressão simples nos Gabros olivínicos e sienitos feldspatóídicos (R_5);
- O índice de plasticidade, expansibilidade elevada patente nos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, marcada ainda pela presença de elevada superfície específica testemunhada pelo cortejo argiloso;
- As elevadas concentrações de U, Th e K, observadas nos Fonólitos e traquitos brechificados ($65,9 \text{ nGy h}^{-1}$);
- Os Fonólitos e traquitos brechificados apresentam valores elevados de superfície específica ($34,8\text{-}84,3 \text{ m}^2/\text{g}$);

Da análise da tabela 5.82, referente às unidades submarinas inferiores, conclui-se que:

- Ocorre heterogeneidade litológica nos Depósitos conglomeráticos estratificados (Basáltica, traquifonolítica e zeolítica/carbonatada ou raramente gabrodiorítica);
- As maiores dimensões de elementos existentes nas Brechas hialoclastíticas (clastos) e de fenocristais nas Brechas hialoclastíticas litificadas;

- A predominância de estruturas vulcânicas submarinas típicas, tais como *pillow*-lavas ou *pillow*-brechas, nas Brechas hialoclastíticas e Brechas hialoclastíticas litificadas;
- O estado de alteração muito variável nas Brechas hialoclastíticas litificadas ($W_{1,2,3,4}$);
- A elevada resposta à percussão e compacidade, por parte das Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular;
- A elevada expansibilidade (26,3%) e actividade coloidal da fracção argilosa dos Conglomerados inferiores contrastando com os resultados das Brechas hialoclastíticas litificadas (7,1-10,1%);
- A elevada resistência mecânica dos materiais face à compressão simples, nas Brechas hialoclastíticas litificadas (R_6);
- Os teores de U, Th e K mais elevados nas unidades das brechas hialoclastíticas litificadas, em comparação com as outras unidades submarinas inferiores (23,3-34,0 (nGyh^{-1})).

Tabela 5.81 - Síntese da caracterização das unidades litológicas de base.

Unidades litológicas	Mantos e filões básicos e ultra-básicos	Vulcanoclastitos basálticos e carbonatitos ígneos	Gabros olivínicos e sienitos feldspatóides	Fonólitos e traquitos maciços	Fonólitos e traquitos brechificados
Natureza e composição					
Natureza	Basáltica e/ou fonolítica	Basáltica e carbonatítica	Gabroica e sienítica	Traqui-fonolítica	Traqui-fonolítica
Dimensão média dos elementos	Calhaus com 30-40 cm	Calhaus com 10-20 cm	Minerais de olivina, biotite e feldspato com 0,5-3cm	Minerais de feldspatóide com 1-1,5cm	Calhaus com 20-25 cm
Natureza dos corpos intrusivos	Basáltica e/ou fonolítica	Basáltica			Basáltica
Estrutura litológica					
Organização dos termos litológicos	Heterogeneidade na sequência litológica; organização lenticular; materiais de estrutura filoniana ou palagonitizados	Chaminés e corpos cónicos ou com disjunção esferoidal atravessados por rede de filonetes e filões	Pequenas massas ou formas cónicas bandadas de gabros alternados com filões e filonetes de sienitos	Corpos cónicos em estrutura maciça	Alterada/palagonitizada
Espessura média dos corpos/estratos	Filões com L ₂	Filões com L _{2,3,4}	L _{3,4,5}	L _{2,3,4}	
Espaçamento médio das descontinuidades	E ₅	E ₅	E _{4,5}	E _{3,4,5}	
Condicionantes <i>in situ</i>					
Resposta à percussão	Friáveis a medianamente compactos	Friáveis a pouco compactos; medianamente a muito compactos	Muito compactos	Pouco a muito compactos	Friáveis a pouco compactos;
Estado de alteração	W _{3,5}	W _{2,3}	W ₁	W _{1,3} (pontualmente W ₄)	W _{4,5}
Propriedades físicas e mecânicas					
Índice de plasticidade (%)	NP-39%				NP-23%
Expansibilidade (%)	7,2-33,4%				16,5-22,5%
Superfície Específica (m²/g)	9,9-149,1				34,8-84,3
Mineralogia argilosa	Caulinite, Illite				Caulinite, illite
Resistência à compressão simples (R)	R _{3,4,5}	R _{3,4,5}	R ₅	R _{4,5}	R ₃
Teores de U, Th e K (nGyh⁻¹)	45,8	33,2	46,0	48,7	65,9

Tabela 5.82 - Síntese da caracterização das unidades submarinas inferiores.

Unidades litológicas	Conglomerados inferiores	Brechas hialoclastíticas	Depósitos conglomeráticos estratificados	Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular	Brechas hialoclastíticas litificadas	Conglomerados de grão grosseiro e calcários com bioclastos
Natureza e composição						
Natureza	Basáltica e traquifonolítica	Basáltica, traquifonolítica e micro-sienítica feldspatóidica	Basáltica, traquifonolítica e zeolítica/carbonatada ou raramente gabrodiorítica	Basáltica	Basáltica, traquifonolítica	Calcarenítica ou grés e/ou ferruginoso
Dimensão média dos elementos	Clastos com 10-25 cm Cristais de biotite com 4cm	Clastos com 6-30 cm; fenocristais de piroxena com 5-7 mm e de olivina, anfíbola, feldspato e biotite com 1-2 mm e hialoclastitos	Clastos com 1-10 cm	Minerais de piroxena e olivina com 0,5-1 mm	Minerais de piroxena (4,5 cm), olivina, anfíbola, biotite e hialoclastitos	Clastos com 5-15 cm
Natureza dos corpos intrusivos		Basáltica	Basáltica		Basáltica	
Estrutura Litológica						
Organização dos termos litológicos	Intercalações arenosas, conglomeráticas brechóides	Brecha vulcânica; <i>pillow</i> -lavas, hialoclastitos; <i>pseudo-pillows</i> ; <i>jigsaw-fit</i>	Intercalações arenosas ou puramente conglomeráticas estratificadas; <i>lahares</i>	Maciça com forma poligonais irregulares, tubulares (tubos de lava)	Brecha vulcânica; <i>pseudo-pillows</i> ; <i>jigsaw-fit</i>	Lenticular, truncada, bancadas estratificadas
Espessura média dos corpos/estratos	L ₃	L _{3,4} Filões e domos com L ₂	L ₃	L _{4,5}	L _{4,5} ; Filões e domos com L _{3,4}	L ₃
Espaçamento médio das descontinuidades				E ₄	E ₅	
Condicionantes in situ						
Resposta à percussão	Friável	Friável a pouco compacto	Pouco compacto	Muito compacto	Medianamente a muito compacto	Medianamente compacto
Estado de alteração	W ₅	W _{3,4}	W _{3,4}	W ₁	W _{1,2,3,4}	W _{1,2}
Propriedades físicas e mecânicas						
Índice de plasticidade (%)	NP	NP	NP		NP	
Expansibilidade (%)	26,3%	7,7-15,9%	15-17%		7,1-10,1%	
Superfície Específica (m ² /g)	66,1%	3,7%	2,3-4,9		6,1-8,1%	
Mineralogia argilosa	Ilite		Caulinite		Caulinite	
Resistência à compressão simples (R)		R _{3,4,5}	R ₃	R _{4,5}	R _{3,6}	R _{3,4}
Teores de U, Th e K (nGyh ⁻¹)		21,9		26-28,9	23,3-34,0	

Apresenta-se uma síntese da caracterização das unidades submarinas superiores, conforme a tabela 5.83, realçando os seguintes aspectos:

- A forma prismática das *pillow*-lavas (rolos) nos Basaltos maciços em rolos, bem como o maior espaçamento das descontinuidades (E_5);
- A maior espessura dos estratos manifestada ($L_{3,4}$), resistência à compressão simples ($R_{4,5}$) e valores dos teores dos elementos radioactivos U, Th e K, nos Basaltos vesiculares em rolos ($28,8 \text{ nGy}^{-1}$);
- A resposta à percussão de forma muito compacta, dos Basaltos maciços em rolos com carbonatos;
- Nos Basaltos vesiculares em rolos verifica-se o estado de alteração bastante elevado ($W_{1,2,3,4}$) e a resposta à percussão, medianamente a muito compacto nos afloramentos de Basaltos maciços em rolos.

Tabela 5.83 - Síntese da caracterização das unidades submarinas superiores.

Unidades litológicas	Basaltos maciços em rolos	Basaltos maciços em rolos com carbonatos	Basaltos vesiculares em rolos
Natureza	Basáltica	Basáltica	Basáltica
Dimensão média dos elementos		Minerais de olivina e biotite, com dimensões de 2-4 mm, com carbonatos disseminados; ocorrem escassos fenocristais de piroxena e anfíbola	Minerais de moscovite com 1 mm, olivina, 1-5 mm; presença de carbonatos (calcite e alterada para dolomite); as brechas podem conter minerais de olivina alterada e piroxena (1-4 cm); clastos com 3-4 cm
Organização dos termos litológicos	Estruturas maciças e de fluência, <i>pillow</i> -lavas com formas prismáticas perfeitas	Estruturas maciças e de fluência, <i>pillow</i> - lavas com formas prismáticas imperfeitas, irregulares; hialoclastitos	Estruturas vesiculares, <i>pillow</i> - lavas ou blocos com formas prismáticas imperfeitas, irregulares; com pseudo-brechas, <i>pillow-brechas</i> e hialoclastitos
Espessura média dos corpos/estratos	L_3	$L_{3,2}$	$L_{3,4}$
Espaçamento médio das descontinuidades	E_5	E_4	E_4
Resposta à percussão	Medianamente a muito compacto	Muito compacto	Muito compacto
Estado de alteração	$W_{1,2,3,4}$	W_1	$W_{1,2,3}$
Resistência à compressão simples (R)	R_4	R_4	$R_{4,5}$
Teores de U, Th e K (nGy^{-1})	25,3	24,8	28,8

Com base nas tabelas 5.84 e 5.85, conclui-se relativamente às unidades subaéreas, o seguinte:

- Ocorre a presença de fenocristais com dimensões consideráveis (anfibola, piroxena e olivina) nos Basaltos porfíricos com lapilli e com alguma expressão nos Basaltos vesiculares inferiores e intermédios;
- A homogeneidade na organização dos corpos patente nos Basaltos maciços e Basaltos amigdalóides e menos visível nos Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli;
- A notável presença da disjunção esferoidal, em camadas e blocos irregulares em cinco das nove unidades, mas com maior incidência, nos designados Basaltos com disjunção esferoidal;
- A elevada compacidade e estado mais conservado dos Basaltos maciços, e bem como em alguns afloramentos de Basaltos com disjunção colunar;
- O espaçamento das descontinuidades bastante dissemelhante traduzindo uma forte fracturação nos Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli ($E_{2,3,5}$) e nos Basaltos com disjunção colunar (E_4);
- A resposta pouco a medianamente compacta à percussão pelos Basaltos com disjunção esferoidal e Basaltos vesiculares intermédios;
- A presença do cortejo argiloso formado pela caulinite nas unidades dos basaltos olivínicos, amigdalóides e vesiculares superiores;
- A elevada resistência à compressão simples ($R_{5,6}$) e concentração média de elementos radioactivos ($33,4 \text{ nGyh}^{-1}$), observadas nos Basaltos maciços;
- A elevada variabilidade da superfície específica nos Basaltos veiculares superiores ($3,2 - 52,6 \text{ m}^2/\text{g}$).
- As semelhanças da espessura média dos estratos ($L_{3,4,5}$) e do espaçamento médio das descontinuidades (E_4) verificadas nos Basaltos com disjunção colunar e Basaltos com disjunção esferoidal.

Na tabela 5.86 apresenta-se as principais características das unidades piroclásticas:

- A presença de calhaus com dimensões médias de 20-50 cm observada nos Depósitos de lapilli litificados, bem como a heterogeneidade na organização dos termos litológicos;
- A moderada espessura que ocorre nos Depósitos de lapilli estratificados (L_3);
- O estado de conservação dos materiais e afloramentos patente nos Depósitos escoriáceos grosseiros;
- A nula ou baixa expansibilidade nos Depósitos de lapilli litificados e Depósitos escoriáceos grosseiros;
- A notável presença do mineral de caulinite nos materiais de Depósitos de lapilli litificados;
- A maior concentração de elementos radioactivos nas amostras de Depósitos escoriáceos grosseiros ($42, 4 \text{ nGyh}^{-1}$) e nos Basaltos vesiculares superiores ($27,2 \text{ nGyh}^{-1}$).

Tabela 5.84 - Síntese da caracterização das unidades litológicas subaéreas.

Unidades litológicas	Basaltos maciços	Basalto porfíricos com bancadas de lapilli	Basaltos vesiculares inferiores	Basaltos com disjunção colunar	Basaltos com disjunção esferoidal	Basaltos vesiculares intermédios
Natureza e composição						
Natureza	Basáltica	Basáltica	Basáltica	Basáltica	Basáltica	Basáltica
Dimensão média dos elementos	Minerais de olivina, piroxena, anfibola, zeólitos com ≤ 1 mm	Fenocristais de olivina alterada e/ou frescas, anfibola e piroxena (≤ 5 cm)	Minerais de olivina com 1-2 cm; com ou sem carbonatos a preencher as vesículas	Com manchas minerais negras (de alteração?) com $\leq 1-2$ mm	Com manchas minerais esbranquiçadas (de alteração?) com $\leq 1-2$ mm	Escassos minerais de olivina alterada com 1-2 cm; com ou sem carbonatos a preencher as vesículas
Estrutura litológica						
Organização dos termos litológicos	Maciços fracturados em blocos heterométricos	Heterogeneidade estrutural definida por maciços fracturados; em blocos heterométricos, dispersos ou amontoados; intercalações de lapilli em bancadas; estrutura em "tortoise shell"	Heterogeneidade na organização dos corpos ou estratos, esferoidal, em blocos ou camadas irregulares ou estratificadas	Disjunção ou estrutura colunar/prismática e em lajes ou escassamente em esferoidal (para o topo da sequência)	Disjunção ou estrutura em lajes e esferoidal (para o topo da sequência)	Heterogeneidade e na organização dos corpos ou estratos, esferoidal, em blocos ou camadas irregulares ou estratificadas
Espessura média dos corpos/estratos	L ₂	L _{3,2}	L _{2,3,4}	L _{3,4,5}	L _{3,4,5}	L _{2,3,4}
Espaçamento médio das descontinuidades	E ₂	E _{2,3,5}	E _{3,4}	E ₄	E ₄	E _{3,4}
Condicionantes in situ						
Resposta à percussão	Muito compactos	Muito compactos; muito alterado (lapilli)	Pouco a medianamente compactos	Medianamente a muito compactos	Pouco a medianamente compactos	Pouco a medianamente compactos
Estado de alteração	W ₁	W ₁ ; W ₄ (lapilli)	W _{1,3}	W _{1,2}	W _{2,3}	W _{2,3}
Propriedades físicas e mecânicas						
Índice de plasticidade (%)				NP	NP	
Expansibilidade (%)				12,3%	3,5%	
Superfície Específica (m²/g)				1,8	1,0	
Mineralogia argilosa						
Resistência à compressão simples (R)	R _{5,6}	R ₅	R _{4,5}	R _{4,5}	R ₄	R _{4,5}
Teores de U, Th e K (nGyh⁻¹)	33,4	21,5	19,9	19,9	23,7	26,6

Tabela 5.85 - Síntese da caracterização das unidades litológicas subaéreas.

Unidades litológicas	Basaltos olivínicos	Basaltos amigdalóides	Basaltos vesiculares superiores
Natureza	Basáltica	Basáltica	Basáltica
Dimensão média dos elementos	Grande predominância de min. de olv essencialmente alteradas com ≤ 5 mm	Com amígdalas preenchidas por carbonatos e/ou zéolitos	Escassos minerais de olivina alterada e com 1-2 cm; com ou sem carbonatos a preencher as cavidades
Organização dos termos litológicos	Heterogeneidade na organização dos corpos ou estratos, esferoidal, em blocos, camadas irregulares ou estratificadas	Organização em camadas estratificadas	Heterogeneidade na organização dos corpos ou estratos, esferoidal, em blocos ou camadas irregulares ou estratificadas
Espessura média dos corpos/estratos	$L_{2,3,4}$	L_4	$L_{2,3,4}$
Espaçamento médio das descontinuidades	$E_{4,5}$	$E_{3,4}$	$E_{3,4}$
Resposta à percussão	Friáveis a medianamente compactos	Medianamente a muito compactos	Pouco a medianamente compactos
Estado de alteração	$W_{2,3,4}$	$W_{2,3}$	$W_{2,3}$
Índice de plasticidade (%)	18%	23%	NP a 18,7%
Expansibilidade (%)	15,4%	18,3%	6,1-17,4%
Superfície Específica (m^2/g)	2,0-2,4	7,8	3,2 – 52,6
Mineralogia argilosa	Caulinite	Caulinite	Caulinite, ilite
Resistência à compressão simples (R)	$R_{4,5}$	R_4	R_4
Teores de U, Th e K (nGyh-1)	18,0	16,2	27,2

Tabela 5.86 - Síntese da caracterização das unidades piroclásticas.

Unidades litológicas	Depósitos de lapilli estratificados	Depósitos de lapilli litificados	Depósitos escoriáceos grosseiros
Natureza	Basáltica	Basáltica	Basáltica
Dimensão média dos elementos	Materiais com 2-64 mm	Materiais com 2-64 mm Calhaus com 20-50 cm	Materiais ≥ 64 mm
Organização dos termos litológicos	Organização dos corpos ou termos em níveis estratificados	Materiais sem estratificação organizada ou aparente	Organização dos corpos em níveis ou superfícies estratificadas intercaladas com lavas ou fragmentos de lavas
Espessura média dos corpos/estratos	L ₃		L ₅
Espaçamento médio das descontinuidades	E ₄		E ₄
Resposta à percussão	Friáveis a pouco compactos	Friáveis a pouco compactos	Pouco compactos
Estado de alteração	W ₄	W _{3,4}	W ₁ (escassos níveis sobretudo os superiores ou superficiais com W ₄)
Índice de plasticidade (%)	NP	NP	NP
Expansibilidade (%)	5,5-7,45	0%	0%
Superfície Específica (m ² /g)	0,7	1,4-5,6	0,3-0,6
Mineralogia argilosa		Caulinite	
Resistência à compressão simples (R)	R ₃	R ₃	R ₃
Teores de U, Th e K (nGyh-1)	30,9	31,1	42,4

As características das unidades sedimentares recentes são sintetizadas na tabela 5.87, permitindo salientar:

- A natureza detrítica dos corpos, caracterizada pela alternância de corpos com diferentes competências;
- A heterogeneidade na organização dos corpos litológicos, na sequência e o carácter laminar e imbricado genericamente presente;
- A maior resposta à percussão e resistência à percussão exibida pelos termos dos Materiais detríticos grosseiros de vertente.

Tabela 5.87 - Síntese da caracterização das unidades sedimentares recentes.

Unidades litológicas	Depósitos de cascalheiras	Materiais detríticos grosseiros de vertente	Depósitos aluvionares	Depósitos de praia
Natureza	Basáltica	Basáltica	Basáltica	Basáltica e ou calcarenítica
Dimensão média dos elementos	Calhaus com dim. de 50-60cm	Calhaus com dim. de 50-60cm Min. de plag, feldsp, magnetite, dolomite	Calhaus heterométricos (pelíticos a conglomeráticos) Min. de dolomite e ilmenite esporadicamente	Min. de dolomite e ilmenite esporadicamente
Organização dos termos litológicos	Níveis de sedimentação bem definidos (2 a 4 episódios ou eventos) com imbricação e laminação	Organização em corpos embutidos, estruturas estratificadas	Organização nem sempre bem definida com elementos finos a grosseiros; ou sequencial com finos na base e grosseiros no topo estratificação entrecruzada, com imbricação e laminação	Camadas ou corpos arenosos e pelíticos
Espessura média dos corpos/estratos	L ₂	L _{2,3}	L _{2,3,4,5}	
Resposta calhaus à percussão dos calhaus	Medianamente a muito compactos	Muito compactos	Pouco a medianamente compactos	Friável
Estado de alteração dos calhaus	W _{1,2}	W ₁	W _{1,2}	
Resistência à compressão simples (R) dos calhaus		R ₅		

Ressaltam assim pela elevada resistência à compressão simples as unidades litológicas, nomeadamente, os Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos, Fonólitos e traquitos maciços, Chaminês e escoadas basálticas com disjunção tubular, Basaltos vesiculares em rolos, Basaltos maciços, Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli, Basaltos olivínicos e Materiais detríticos grosseiros de vertente.

As características *in situ*, com elevada resposta à percussão e baixo grau de alteração superficiais fazem salientar as unidades dos Gabros olivínicos e sienitos feldspatoídicos, Fonólitos e traquitos maciços, Basaltos maciços em rolos com carbonatos, Basaltos vesiculares em rolos, Basaltos maciços, Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli e Materiais detríticos grosseiros de vertente.

Estes resultados fazem ainda notar a elevada influência do teor de humidade no comportamento das unidades dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos, Conglomerados inferiores, Brechas hialoclastíticas e Brechas hialoclastíticas litificadas.

Os elevados teores de U, Th e K fazem destrinçar as unidades dos Fonólitos e traquitos maciços e Fonólitos e traquitos brechificados, testemunhando as características de estado *in situ*, com graus distintos de alteração superficial.

Feita esta caracterização síntese e o reconhecimento evidenciado no Capítulo 4 das características *in situ*, apresenta-se uma descrição dos resultados numa proposta de classificação de aptidão dos diferentes materiais das unidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados do 5º capítulo e dado que a natureza dos materiais, a textura e estrutura dos mesmos, assim como os dados resultantes da caracterização *in situ* e laboratorial determinam o comportamento geotécnico e geomecânico, procura-se neste capítulo estabelecer uma análise final sobre a distribuição das propriedades que traduzem determinado comportamento, tomando por base critérios de homogeneidade ou intervalos de variação.

A UNESCO/IAEG (1976) propôs a classificação das unidades geotécnicas em vários tipos (geotécnico, litológico, formação geotécnica e grupo geotécnico), tendo-se considerado neste trabalho o tipo litológico como o mais representativo, o qual representa um terreno homogéneo, no que respeita à sua natureza, mas em que são variáveis as características de estado *in situ*. Segundo Coelho (1980), não é legítimo representar estas unidades por uma amostra estatística, no que respeita às suas propriedades geotécnicas, podendo no entanto traduzir-se em termos que dão uma ideia da sua dispersão e da variabilidade do seu comportamento. O tipo litológico é assim uma unidade identificável com os métodos usuais de reconhecimento geológico, neste trabalho foi coadjuvados por ensaios geotécnicos, geomecânicos e mineralógico-geoquímicos, com um carácter geral, em que são descritas as propriedades dos materiais de substrato e de superfície e seus valores indicativos de aptidão (Dinis 2000; Silva, 2000; El May *et al*, 2009), tendo-se utilizado como escala cartográfica de referência a escala 1/10.000.

Com base nas propriedades representativas de cada unidade é possível realizar uma análise dos valores indicativos de aptidão, em que esta representa a maior ou menor adequação do território em função das suas características físicas para determinado tipo de actividade (Rodrigues, 1994). Esta análise dos valores indicativos de aptidão a partir da caracterização geológica-geotécnica é imprescindível em grandes obras de engenharia, assumindo uma importância cada vez maior no processo do território, em particular no planeamento do espaço urbano (Veiga, 2011).

Procurando assim efectuar uma análise dos valores indicativos de aptidão dos materiais para os diferentes usos no contexto urbano da cidade da Praia (Macedo, 1980; Coelho, 2008), em Cabo Verde, e associados à transformação de uso do solo da área de estudo, apresenta-se de seguida uma análise qualitativa das diferentes unidades litológicas, anteriormente descritas, em função dos seus valores indicativos de aptidão como materiais de fundação, como inertes ou como materiais de aterro, assim como suporte da recarga (Coelho, 1980) e do potencial aquífero. Tendo em conta as classificações obtidas para os solos, bem como as aplicações possíveis, designadamente como materiais de aterro, efectua-se igualmente uma caracterização tendo em conta a experiência de muitas obras

Considerações finais

relativa a cada um dos grupos de solos com determinados comportamentos mais ou menos favoráveis. É igualmente possível na fase de estudo de determinada obra de aterro, com base nos resultados de ensaios, escolher de entre os solos que se apresentam como passíveis de utilização (materiais de construção) na vizinhança da obra, os que correspondem às exigências daquela (Pires, 2007).

Para a avaliação dos valores indicativos de aptidão dos materiais para as fundações, teve-se em conta as classificações Unificada e da AASTHO para fins rodoviários, bem como as classificações da resistência à compressão simples (σ_c), e do índice de carga pontual Is_{50} , bem como o grau de alteração. Considerou-se a variação da distribuição dos valores dos parâmetros em 3 classes: favorável, pouco favorável e desfavorável.

Para os valores indicativos de valores indicativos de aptidão desfavorável dos materiais considerámos as classes granulométricas (classificação unificada) MH, CH, OH, CL, ML e os solos do tipo A7-5, A7-6 e A-4. Para os materiais de substrato considerou-se como de valores indicativos de aptidão desfavorável os que exibiam uma resistência à compressão simples (ISRM, 1981) baixa a muito baixa, nomeadamente a classe $S_{4,5}$ (< 20 MPa), ou um índice de carga pontual no intervalo < 1 MPa (Bieniawski, 1974) com a classe R_4 (muito baixa resistência) e/ou um grau de alteração $W_{4,5}$ (muito a completamente alterado).

Para os valores indicativos de aptidão pouco favoráveis às fundações nos edifícios foram considerados os seguintes aspectos: solos do tipo SM, SC, SW e SP, do tipo A-4, ou ainda dos materiais de substrato com classes de resistência à compressão simples S_3 (20-60 MPa), e/ou resistência à compressão pontual, na classe R_3 (moderada resistência), e/ou alteração do grau $W_{2,3}$ (pouco a moderadamente alterado).

Os materiais com granulometrias GW, GP, GM, SW, SP, SM, SC, ML, CL, MH e CH, tipo A-4, ou que apresentam uma resistência à compressão simples a variar de 60 a 200 MPa ($S_{1,2}$), com carga pontual ($R_{1,2}$) e valores > 4 MPa, ou seja com resistência elevada a muito elevada, são classificados como favoráveis à implementação de fundações, desde que se reúnam as condições técnicas adequadas.

Para a avaliação dos valores indicativos de aptidão dos materiais como inertes para a construção e agregados teve-se em atenção as classificações unificada e de AASTHO (para os materiais granulares), as classificações da resistência à compressão simples e do índice de carga pontual (para os materiais rochosos) e ainda o grau de espaçamento das descontinuidades e a alteração dos materiais. Considerou-se como valores indicativos de aptidão fraca a razoável os materiais caracterizados pelos seguintes parâmetros: classe de resistência à compressão simples, $S_{1,2,3}$ (< 20 MPa) e resistência à compressão pontual, na classe $R_{1,2}$ (> 4 MPa) com alteração de grau $W_{1,2,3}$ e/ou espaçamento $E_{1,2,3}$.

Os valores indicativos de aptidão bons a excelentes dos materiais rochosos para construção é considerada para os materiais os intervalos de resistência à compressão simples, $S_{4,5}$ (20-200 MPa) e resistência à compressão pontual na classe $R_{3,4}$ (< 4 MPa), com grau de alteração $W_{4,5}$ e espaçamento $E_{4,5}$.

Para a classificação do comportamento dos solos em aterros utilizou-se a classificação para fins rodoviários e a classificação unificada, entre outras propriedades, como o peso específico, expansibilidade e actividade coloidal. Definem-se como materiais

menos adequados os solos classificados como MH, CH, CL, OL, ML (solos finos com siltes e argilas de baixa e elevada compressibilidade) referentes aos grupos A7-5, A7-6 e A-4 com peso específico baixo ($< 1,8 \text{ g/cm}^2$) e com $\geq 20\%$ de expansibilidade e $> 1,25$ de actividade coloidal; foram considerados como materiais razoáveis os solos dos tipos SM, SC, SP e GC e do tipo A-4, com peso específico a variar entre $1,8\text{-}2,2 \text{ g/cm}^2$, expansibilidade entre $10\text{-}20\%$ e com actividade coloidal $> 1,25$.

Os materiais bons a excelentes são materiais granulares do tipo GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC e ML e do grupo A-4, com peso específico elevado a muito elevado ($> 2,2 \text{ g/cm}^2$), $< 20\%$ de expansibilidade e $< 1,25$ de actividade argilosa.

As unidades litológicas também foram classificadas tendo em conta o seu potencial hidrogeológico. Para o efeito consideraram-se dois parâmetros importantes, a recarga aquífera e o potencial aquífero. A recarga aquífera das unidades granulares é definida tendo por base a classificação unificada (granulometria dos materiais) e a superfície específica; para a caracterização deste parâmetro hidrogeológico nas unidades rochosas do substrato utilizaram-se o espaçamento das descontinuidades (fracturação) e o estado de alteração (Duarte, 1998), dado que o potencial aquífero para os materiais granulares e rochosos é estimado a partir dos valores de transmissividade, caudal de produtividade, porosidade e permeabilidade (Azevedo; 1999; Prada, 2000; Pina, 2009).

Assim, a classe de recarga aquífera baixa foi considerada para os materiais com porosidade e permeabilidade baixa, com tipos definidos por MH, CH, OH, ML, CL, com baixa a elevada superfície específica (variável de $2,9$ a $149,1 \text{ g/cm}^3$), ou para os materiais rochosos que exibem espaçamento das descontinuidades no intervalo entre $E_{1,2}$, e grau de alteração entre as classes $W_{4,5}$. Para o potencial aquífero baixo foram considerados os valores médios de transmissividade entre $0,2$ a $5,10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ e caudais médios de exploração também reduzidos, sendo os caudais máximos esperados para estas características da ordem de 5 a $7 \text{ m}^3/\text{h}$, tendo por base os dados de Pina (2009).

A recarga aquífera moderada relaciona-se com materiais granulares dos tipos definidos SM, SC, GP, GC com baixa a moderada superfície específica ($2,3$ a $50,0 \text{ g/cm}^3$), ou materiais rochosos com espaçamento das descontinuidades a variar entre $E_{2,3}$ e/ou grau de alteração nas classes $W_{2,3}$. O potencial aquífero moderado é dado por valores médios de transmissividade de 10^{-4} a $2,10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, caudais médios de exploração de 8 a $30 \text{ m}^3/\text{h}$ e porosidade e permeabilidade superior à classe anterior (areias finas), definida por materiais com grosseiros que contêm finos (siltes e argilas).

A recarga aquífera elevada está relacionada com granulometrias definidas por SW, SP, GW, GM, com baixa superfície específica ($1,0$ a $7,8 \text{ g/cm}^3$), ou materiais do substrato com espaçamento das descontinuidades a variar entre $E_{3,4,5}$; o grau de alteração situa-se entre as classes $W_{1,2}$. O potencial aquífero elevado apresenta valores médios de transmissividade de $2,10^{-2}$ a $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ e caudais médios de exploração de 30 ou mais m^3/h , testemunhada por materiais com uma determinada porosidade e permeabilidade (areias grossas e cascalhos).

A tabela 6.1 sintetiza a utilização dos solos, tendo em conta os seus valores indicativos de aptidão para fundações de edifícios, materiais de construção, aterros e potencial hidrogeológico, bem como os intervalos acima referidos

Considerações finais

Tabela 6.1 - Valores indicativos de aptidão das unidades litológicas.

Unidade litológica			Comportamento em fundações		Trabalhabilidade como materiais de construção, agregados		Comportamento em aterros		Potencial hidrogeológico	
									Recarga aquífera	Potencial aquífero
Solos de cobertura			Desfavorável		Frac a excelente		Mau a excelente		Baixa a elevada	Baixo a elevado
*Depósitos de praia	*Depósitos aluvionares	Materiais detríticos grosseiros de vertente	Desfavorável		*Boa a Excelente	Razoável			*Moderada a elevada	
Depósitos de cascalheiras			Desfavorável		Razoável				Moderado	
Depósitos escoriáceos grosseiros			Desfavorável		Boa a Excelente		Bom a excelente		Moderado	
Depósitos de lapilli estratificados		Depósitos de lapilli litificados	Desfavorável a pouco favorável	Desfavorável	Boa	Boa a Excelente	Bom a excelente		Moderado	Moderado
Basaltos vesiculares superiores			Favorável		Razoável		Bom a excelente		Moderado a elevado	
Basaltos olivínicos		Basaltos amigdalóides	Favorável		Razoável	Boa	Bom a excelente	Razoável a excelente	Moderada a elevada	Moderado a elevado
Basaltos vesiculares intermédios			Favorável		Boa		Razoável a bom		Moderado a elevado	
Basaltos com disjunção esferoidal			Favorável		Boa a Excelente		Bom a excelente		Moderado a elevado	
Basaltos com disjunção colunar			Favorável		Boa a Excelente		Bom a excelente		Moderado a elevado	
Basaltos vesiculares inferiores			Favorável		Boa		Razoável a excelente		Moderado a elevado	
Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli		Basaltos maciços	Favorável		Boa	Razoável	Razoável a excelente		Moderado	
Basaltos vesiculares em rolos			Favorável		Razoável		Mau a bom		Elevado	
Basaltos maciços em rolos		Basaltos maciços em rolos com carbonatos	Favorável		Boa	Razoável	Razoável a excelente		Moderado a elevado	Elevado
Brechas hialoclastíticas litificadas		Conglomerados de grão grosseiro e *calcários com bioclastos	Favorável	Favorável a *desfavorável	Razoável	Razoável a Boa	Razoável a bom		Moderado a baixo	
Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular			Favorável		Razoável		Razoável		Moderado	
Brechas hialoclastíticas		Depósitos conglomeráticos estratificados	Favorável a pouco favorável	Favorável a pouco favorável	Boa	Razoável	Razoável a excelente	Bom a excelente	Baixo a moderado	
Conglomerados inferiores			Favorável a pouco favorável		Boa a Excelente		Bom a excelente			
Gabros olivínicos e Sienitos feldspatóides		*Vulcanoclastitos basálticos e **carbonatitos ígneos	Favorável	Favorável a *desfavorável	Boa	Boa a **razoável			Baixo a moderado	
Fonólitos e traquitos brechificados		Fonólitos e traquitos maciços	Desfavorável	Favorável	Frac a Boa	Boa a excelente	Mau a excelente	Boa a excelente	Baixo	Baixo a moderado
Mantos e filões básicos e ultra-básicos			Pouco favorável a Desfavorável		Frac a boa;		Mau a razoável		Moderado a baixo	

Realizando uma análise dos resultados, conclui-se que as unidades litológicas mais aptas para fundação de edifícios são: Fonólitos e traquitos maciços, Gabros olivínicos e Sienitos feldspatoídicos, Chaminés e escoadas basálticas com disjunção tubular, Brechas, hialoclastíticas litificadas, Basaltos maciços em rolos, Basaltos maciços em rolos, Basaltos maciços em rolos com carbonatos, Basaltos vesiculares em rolos, Basaltos porfíricos com bancadas de lapilli, Basaltos maciços, Basaltos vesiculares inferiores, Basaltos com disjunção colunar, Basaltos com disjunção esferoidal, Basaltos vesiculares intermédios, Basaltos olivínicos, Basaltos amigdalóides e Basaltos vesiculares superiores.

Para a utilização como materiais de construção e agregados, e para aterros, parece não existirem muitas limitações de utilização com excepção dos Mantos e filões básicos e ultra-básicos e Fonólitos e traquitos brechificados, pois estes contêm materiais com argilas de elevada compressibilidade, e dos solos de cobertura, com especial atenção para os Mantos de filões básicos e ultra-básicos que apresentam fracções com elevada compressibilidade.

As unidades que apresentam elevada recarga e potencial aquífero são nomeadamente as unidades caracterizadas por elevada fracturação e alteração superficial, nomeadamente os Basaltos maciços em rolos, Basaltos maciços em rolos com carbonatos, Basaltos vesiculares em rolos, Basaltos vesiculares inferiores, Basaltos com disjunção colunar, Basaltos com disjunção esferoidal, Basaltos vesiculares intermédios, Basaltos olivínicos, Basaltos amigdalóides, Basaltos vesiculares superiores, e os materiais superficiais representados pelos Depósitos escoriáceos grosseiros, Depósitos de cascalheiras e Depósitos aluvionares.

Em conclusão, este trabalho apresenta uma compilação detalhada sobre as principais investigações geológicas realizadas em Cabo Verde, desde o Séc. XIX até a actualidade, permitindo estabelecer um novo referencial no âmbito das geociências num território com elevada dinâmica de transformação e urbanização.

A partir de uma pesquisa e revisão dos conceitos e metodologias de caracterização dos materiais designados por vulcanitos e vucanoclastitos, estabelece-se uma nova sistemática de descrição das unidades litológicas regionais e das suas relações espaciais, actualizando os dados propostos por A. Serralheiro (1976) e M. Alves *et al.* (1979). Estabelece-se igualmente um quadro dos principais alinhamentos estruturais com incidência na representação cartográfica das unidades e na sua morfologia, para o que foram concomitantemente utilizadas técnicas de detecção remota, as quais permitiram também reconfirmar as diferentes características físicas entre as unidades litológicas.

O levantamento das características *in situ* dos diferentes materiais em afloramento, assim como a representação de diferentes perfis tipo, possibilitam a análise das variações composicionais, granulométricas, texturais e estruturais dos materiais, assim como processar um novo entendimento das suas relações e propriedades.

Esta análise, a par da realização de ensaios *in situ* e de amostragem para ensaios laboratoriais permitem diferenciar por intervalos característicos os parâmetros geotécnicos, geomecânicos, mineralógicos e geoquímicos. Estabelece-se assim uma classificação

alargada das características dos materiais, complementada por outros resultados de instituições de referência.

A classificação de parâmetros geotécnicos, geomecânicos, mineralógicos e geoquímicos permite caracterizar em domínios de homogeneidade física as 30 unidades litológicas presentes na área de estudo, assim como propor diferentes graus de valores indicativos de aptidão dos materiais, nomeadamente para fundações de edifícios, aterros, materiais de construção e potencial hidrogeológico. Este conjunto de dados é de especial interesse dado o elevado grau de alteração do uso e ocupação do solo e de transformação do território, com impacto quer na gestão dos recursos minerais e hídricos, quer nas condições de segurança e da edificação e infra-estruturação. Esta análise é ainda complementada numa componente ambiental por dados de radioactividade natural no interior de habitações, onde se conclui pela exposição à radiação ionizante da população residente de acordo com dose efectiva inferior à média mundial, o que traduz condições favoráveis de uso e ocupação do território e de recurso aos materiais naturais na edificação.

Como conclusões do trabalho, apresenta-se assim uma proposta de classificação dos valores indicativos de aptidão, à implementação de fundações, utilização como materiais de construção e aterros, bem como o potencial hidrogeológico, adaptando assim as metodologias propostas por Coelho (2008) e referidas por El May *et al.* (2009).

Em síntese, a cartografia e caracterização das unidades litológicas produzidas neste trabalho são de suma importância no contributo do conhecimento geológico-geotécnico da ilha de Santiago, em especial da área urbana e em urbanização da cidade da Praia, em Cabo Verde. O trabalho de caracterização geológica e geotécnica dos espaços urbanos é um trabalho contínuo que reverte para o bem estar das populações, em particular em zonas onde os terrenos sejam menos aptos à ocupação e uso (Meisina, 2006), bem como, em geral, na gestão do planeamento e ordenamento do território (Almeida, 1991).

Tendo em conta a sistematização de dados recolhidos a partir de diferentes metodologias de análise e tratamento de dados de carácter mineralógico, petrográfico, geoquímico, vulcanoestratigráfico, tectónico, incluindo técnicas de detecção remota, radioactividade natural, geologia de engenharia, mecânica dos solos e das rochas, apresenta-se um contributo que possibilita a fundamentação das geociências como domínio científico fundamental para o desenvolvimento sustentável das comunidades insulares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abranches, M., Storetvedt, K., Serralheiro, A. & Løvlie, R. (1990). The palaeomagnetic record of the Santiago volcanics (Republic of Cape Verde), multiphase magnetization and age consideration. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. Vol. 64, Issues 2-4, pp. 290-302.
- AFNOR (1993). Mesure de la qualité et de l'activité de la fraction argileuse. Détermination de la valeur de méthylène d'un sol par l'essai à la tache. Norme Française, NF P-94-068, 8 p.
- Agência de Cooperação Internacional do Japão (2003). *Relatório do estudo de desenho básico para o projecto de desenvolvimento de águas subterrâneas e abastecimento de água no sector rural na ilha de Santiago na República de Cabo Verde*. Praia.
- Agência Japonesa de Cooperação Internacional & INGRH (1999). *Estudo sobre o desenvolvimento da água subterrânea na ilha de Santiago na República de Cabo Verde*. Relatório Final, Vol. 1, Sumário, 119 p. Praia.
- Aggitalis, G., Stamoulis, D. & Stournaras, G. (1996). Correlating Uniaxial Compressive Strength with Schmidt Hardness, Point Load Index, Young's Modulus and mineralogy of Gabbros and Basalts (Northern Greece). *International Association of Engineering Geology*, Vol. 22 (1), pp. 3-11. DOI: 10.1007/B102600650.
- Alfama, V. (2007). *Património Geológico da ilha do Fogo (Cabo Verde): Inventariação, Caracterização e Propostas de valorização*. Tese de Mestrado. Universidade do Minho, 114 p.
- Almeida, I. (1991). *Características geotécnicas dos solos de Lisboa*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 391 p.
- Almeida, I. (2008). Geologia urbana, cartografia geotécnica e bases de dados. In Mateus, A. (Coord.), *Megacidades: o nosso futuro global*. Departamento de Geologia, FCUL, Lisboa, pp.10-11. Acessível em <http://geologia.fc.ul.pt/documents/108.pdf>, consultado em 12.06.2011.
- Alves, C., Serralheiro, A., Macedo, J., Cramez, P., Sousa, A., Mendes, F. & Gomes, R. (1971). Carbonatitos de Santiago (Cabo Verde). *Actas do 1º Congresso Hispano Luso Americano de Geologia Económica*, Lisboa, tomo II, secção 1: pp. 563-576.
- Alves, C., Macedo J., Silva, L., Serralheiro, A. & Faria, A. (1979). Estudo Geológico, Petrológico e Vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde). *Garcia da Orta, Série de Geologia*, Lisboa, 3, pp. 47-74.
- Al-Zyoud, S. (2009). Evaluation of physicommechanical properties of basaltic rocks in Harrat al-Shaaam, Jordan. *International Conference and Exhibition on Green Energy & Sustainability for Arid Regions & Mediterranean Countries*. Jordan (oral presentation).
- Amaral, I. (1964). *Santiago de Cabo Verde. A Terra e os Homens*. Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa, 444 p.
- American Geological Institute (AGI) (1962). *Dictionary of Geological and related Terms*. USA. 72 pp.
- Andrade, P. (2004). *Caracterização geomecânica e análise da estabilidade em maciços rochosos anisotrópicos: taludes do IP3 e da EN234 (Portugal Central)*. Tese de Doutoramento. DCT. FCT. Universidade de Coimbra.
- Anjos, R., Veiga, R., Soares, T., Santos, A. Aguiar, J., Frascá, M., Brage, J., Uzêda, D., Mangia, L., Facure, A., Mosquera, B., Carvalho, C. & Gomes, P. (2005). Natural radionuclide distribution in Brazilian commercial granites. *Radiation Measurements*, 39, pp. 245-253.
- Anon (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering proposes. Geological Society Engineering Group Working Party Report. *Quarterly of Journal Engineering Geology*, 28, pp. 207-242.

Referências Bibliográficas

- Assunção, F. (1968). *Geologia da Província de Cabo Verde*. Curso de Geologia do Ultramar. *Garcia da Orta, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, pp. 2-52.
- ASTM (1985). Standard Practice for Classification of soils for Engineering Purposes. USCS, D 2487.
- ASTM (1999). Standard Test Method for Methylene blue index of clay. Annual Book of ASTM Standards. USA. Vol., 15 (29), pp. 267-268.
- ASTM (2001). Standard Test Method for determination of Rock hardness by rebound hammer method. D5873-00.
- Aydin, A. & Basu, A. (2005). The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 81, pp. 1-14.
- Azevedo J. (1999). *Geologia e Hidrogeologia da Ilha das Flores (Açores, Portugal)*. Tese de Doutoramento. DCT – FCT da Universidade de Coimbra, vol. 1 & 2, 403 p.
- Azevedo, J. (1988). *Depósitos vulcanoclásticos submarinos: caso de estudo da ilha das Flores, Açores*. Provas de Aptidão Científica e Pedagógica. DCT - FCT da Universidade de Coimbra, 198 p.
- Azevedo, J. (2001). *Produtos e Estruturas Vulcânicas*. Módulo integrado na Acção de formação “Vulcanismo activo em Portugal” do Programa FOCO. Organização da Associação Portuguesa de Professores de Biologia e Geologia e das Universidades de Coimbra e dos Açores.
- Baldrige, A., Hook, S., Grove, C. & Rivera, G. (2009). The ASTER Spectral Library Version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, pp. 711-715.
- Bandomo, Z., Fernandes, P., Andrade, M., Fonseca, J., Melián, G., Rodriguez, F., Nolasco, D., Padilla, G., Padrón, E., Calvo, D., Barros, I., Hernández, P., Melo, S., Rodrigues, J., Gonçalves, A., Cardoso, J., Barbosa, A. & Pérez, N. (2010). Monitorização Geoquímica do Vulcão do Fogo. *Makavol Workshop Fogo 2010*, Cabo Verde. Abstract Vol., p.18.
- Barker, A., Holm, P., Peate, D. & Baker, J. (2009a). Geochemical stratigraphy of submarine lavas (3.5 Ma) from the Flamengos Valley, Santiago, Cape Verde. *Journal of Petrology*, 50:169-193.
- Barker, A., Holm, P., Peate, D. & Baker, J. (2009b). A 5 million year record of compositional variations in mantle sources to magmatism on Santiago, southern Cape Verde archipelago. *Mineralogy & Petrology*, 160: 33-154. DOI: 10.1007/S00410.009-0470.
- Batiza, R. & White, J. (2000). Submarine Lavas and Hyaloclastite. In: *Encyclopedia of Volcanoes*. Sigurdsson, H. (Ed.), pp. 361-381.
- Bebiano, J. (1932). A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, XVIII, 275 p.
- BEIR VI, 1998 – *The Health Effects of Exposure to Indoor Radon. Biological Effects of Ionizing Radiation*. VI Report. Nacional Academy Press, 256 p.
- Bernard-Griffiths, J., Cantagrel, J., Alves, C., Mendes, E., Serralheiro, A. & Macedo, J. (1975). Données radiométriques Potassium-Argon sur quelques formations magmatiques des îles de l'Archipel du Cap Vert. *C. R. Academic Science*, 280: pp. 2429-2432.
- Berthois, L. (1950). *Contribution à la connaissance lithologique de l'archipel du Cap-Vert*. Junta de Investigações Coloniais: quadros, mapas, estudos, ensaios e documentos, 194 p.
- Best, M (2003). *Igneous Metamorphic Petrology*. Blackwell Science, Ltd, 717 p.
- Bieniawski, Z. (1974). Estimating the Strength of Rock Materials. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 74 (8), pp. 312-320.
- Bieniawski, Z. (1979). The geomechanics classification in rock mechanics application. *Proceedings of the 4th International Congress for Rock Mechanics*, ISRM, Montreaux, Vol. II, pp. 41-48.

- Bieniawski, Z. (1975). The Point Load Test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 9 (1), pp. 1-11.
- Bonadiman, C., Beccaluva, L., Coltorti, M. & Siena, F. (2005). Kimberlite-like metasomatism and 'Garnet Signature' in spinel-peridotite Xenoliths from Sal, Cape Verde Archipelago: relics of a subcontinental mantle domain within the Atlantic Oceanic lithosphere? *Journal of Petrology*, Vol. 46(12): 2465-2493.
- Bourguet, J., Broquet, P. & Rosseau, J. (1985). Essai de Classification des sols pour les terrassements. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 31, pp. 25-34.
- Bowden, A., Lamont-Black, J. & Ulliyott, S. (1998). Point Load testing of weak rocks with particular reference to chalk. *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, Vol. 31 n° 2, pp. 95-103.
- Broch, E. & Franklin, J. (1972). Point Load strength test. *International Journal Rock Mechanics Mineralogy Sciences* 9(6), pp. 669-697.
- Burri, C. (1973). Petroquímica do arquipélago de Cabo Verde e comparação do vulcanismo cabo-verdiano com o da Renânia. *Garcia da Orta, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 1 (2), pp. 1-26.
- Caldeira, R. & Silva, L. (2008). Diferenciações pegmatitóides em lavas nefeliníticas/ melilitíticas de ilhas de Cabo Verde. Livro de resumos IX Congresso de Geoquímica dos PALOP: p. 106.
- Cas, R. & Wright, J. (1987). *Volcanic sucessions*. Modern ancient. Allen & Unwin, Ltd (Ed), Londres, 528 p.
- Chander, G., Markham, B. & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 893-903.
- Chavez, P.S. (1996). Image-based atmospheric corrections revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp. 1025-1030.
- Chicarro, P., Luna, I., Ramos, J., Recarte, A. & Meléndez, B. (1957). *Diccionario de Geología Y Ciencias afines*. Tomo II. Editorial Labor, Barcelona, Spain.
- Christensen B., Holm, P., Jambon, A. & Wilson, J. (2001). Helium, argon and lead isotopic composition of volcanics from Santo Antão and Fogo, Cape Verde Islands. *Chemistry & Geology* 178:127-142.
- COBA. Consultores de Engenharia e Ambiente, SA (2003). Notícia explicativa da Carta Geotécnica do Porto. 2ª Edição, COBA/FCUP/Câmara Municipal do Porto (CMP), 230 p. (*unpublished report*).
- Coelho, A. (1980). *A cartografia geotécnica no planeamento regional e urbano*. Experiência de aplicação na região de Setúbal. LNEC, Lisboa. 151 p.
- Coelho, A. (2008). Geologia de cidade, in Mateus, A. (Coord.), *Megacidades: o nosso futuro global*. Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa, pp. 3-5. Acessível em <http://geologia.fc.ul.pt/documents/108.pdf>, consultado em 12.06.2011.
- Coltorti, M., Bonadiman, C., O'Reilly, S., Griffin, W. & Pearson, N. (2009). Buoyant ancient continental mantle embedded in oceanic lithosphere (Sal Island. Cape Verde Archipelago). *Lithos*, Vol. 20. 1-2, pp. 223-233.
- Conde, M., Gama, C. & Lopes, M. (2004). Correlação entre o comportamento mecânico de agregados e das rochas originais. 9º Congresso Nacional de Geotecnia, Aveiro.
- Correia, A. G. (1988). Revisão e classificação de solos para propósitos de Engenharia. *Geotecnia*, nº 52. LNEC.
- Correia, A.G (1980). *Ensaio para controlo de Terraplenagens*. LNEC, pp. 75-90.

Referências Bibliográficas

- Costa e Silva, M., Neves, A., Pereira, H. & Reis e Sousa, M. (2001). Critérios para a caracterização de maciços rochosos para obras subterrâneas. Congresso de Engenheiros, Ordem dos Engenheiros, Vidago.
- Costa, C. (2006). Disciplina de fundamentos de Geotecnia, 3º Cap. Introdução à descrição e classificação de rochas, ano lectivo 2006/2007. U. Évora, DCT.
- Costa, F. & Nunes, M. (2007). Condicionantes geomorfológicas de erosão hídrica na bacia de Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde). *Publicações de Associação Portuguesa de Geomorfólogos*; Vol. V, Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Lisboa, 2007, pp. 107-120.
- Costa, F. (1996). Processos erosivos actuais na bacia da Ribeira Seca (Santiago Oriental, Cabo Verde). *Garcia de Orta, Série Geografia*, Vol. 15 (1): pp. 29-34.
- Courtney, R. & White, R. (1986). Anomalous heat flow across the Cape Verde Rise: evidence for a thermal plume in the Earth's mantle. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 87: 815-869.
- Culshaw, M. (2003). Bridging the gap between geoscience providers and the user community. Cap 2. M.S. Rosenbaum, N.D. a. K. Turner (Eds): *LNES 99, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, pp. 7-26.
- Culshaw, M. & Price, S. (2011). The 2010 Hans Cloos Lecture. The contribution of urban geology to the development regeneration and conservation of cities. *Bulletin of the Engineering Geology Environment*, nº 70, pp. 333-337.
- Cunha, P. (1993). *Determinação da mineralogia da fracção argilosa de um sedimento, por difracção de raios-X da fracção < 2 µm em lâmina sedimentada*. Aula prática de Petrologia sedimentar. DCT-FCT, Universidade de Coimbra.
- Darwin, C. (1842). *On the structure and distribution of coral reefs*. Ward Lock, London, UK, 549 pp.
- Dash, B., Ball, M., King, G., Butler, L. & Rona, P. (1976). *Geophysical investigation of the Cape Verde Archipelago*. *Journal of Geophysical Research*, 81: pp. 5249-5259.
- Davies, G., Norry, M., Gerlach, D. & Cliff, R. (1989). A combined chemical and Pb.Sr.Nd isotope study of the Azores and Cape Verde hot spots, the geodynamic implications. In: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (eds) *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, Special Publications, London 42, pp. 231-255.
- Day, S., Heleno, S. & Fonseca, J. (1999). A past giant lateral collapse and presentday flank instability of Fogo, Cape Verde Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 94: pp. 191-218.
- De Paepe, P., Klerkx, J., Hertogen, J. & Plihlke, P. (1974). Ocean tholeiites on the Cape Verde island: petrochemical and geochemical evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, (22), pp. 347-355.
- Deere, D. & Miller, R. (1986). *Engineering classification and index properties for intact rock*. Technical Report Nº AFWL-TR-65-115. Air Force Weapons Laboratory Kirtland Air Base, New Mexico.
- Dick, J. & Shacoor, A. (1992). Lithological controls of mudrock durability. *Quarterly Journal Engineering Geology*. London, Vol. 25, pp. 31-46.
- Dietz, R. & Sproll, W. (1970). East Canary as microcontinent within the Africa – North America continental drift fit. *Nature* (226), pp. 1043-1045.
- Dinis, G. (2000). Geotecnia ambiental, perspectivas e aplicações. *Geotecnia, revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, nº 90, pp.9-47.
- Diniz, A. & Matos, G. (1986). Carta de Zonagem Agro-Ecológica e da Vegetação de Cabo Verde. Ilha de Santiago. *Garcia de Orta, Comunicações dos Serviços Botânicos*, Lisboa, 8 (1-2): 39-82.
- Doetler, C. (1882). *Vulcane der Capverden und ihre Producte*. Áustria, Graz, 1882, 176 p.

Doucelance, R., Escrig, S., Moreira, M., Gariépy, C. & Kurz, M. D. (2003). Pb-Sr-He isotope and trace element geochemistry of the Cape Verde Archipelago. *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 67(19), 3717-3733.

Duarte, I., Ladeira, F. & Gomes, C. (2004). *Influência das propriedades químicas e mineralógicas no comportamento geotécnico de solos residuais graníticos*. Universidades de Évora e Aveiro.

Duarte, R. (1998). Prospecção e captação de águas subterrâneas em terrenos vulcânicos, arquipélago da Madeira. *Acessível em www.aprh.pt/congressos, consultado em 20.07.2012.*

Elmay, M., Dlala, M. & Chenini, I. (2010). Urban geological mapp.ing: Geotechnical data analysis for rational development planning. *Engineering Geology*, nº 116, pp. 129-138.

Ernst, R. & Bucha, K. (2003). Recognizing Mantle Plumes in the Geological Record. *Annual Review of Earth Planet Sciences* (31), pp. 469-523.

Escrig, S., Doucelance, R., Moreira, M. & Allégre, C. (2005). Os isotope systematics in Fogo Island: Evidence for lower continental crust fragments under the Cape Verde Southern Islands. *Chemical Geology* (219), pp. 93-113.

Eurocódigo 7 (1997). *Projecto Geotécnico*. Parte 2. Madrid.

Fabbri, G. (1994). *Caracterização da fracção fina dos solos tropicais através do Ensaio de Azul-de-metileno*. Tese de Doutoramento. EESC, Universidade de São Paulo, Brasil, 685 p.

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) (2010). *Apostamentos de Geologia de Engenharia*. *Acessível em http://paginas.fe.up.pt/~geng/ge/apontamentos/Cap_3_GE.pdf, consultado em 7 de Setembro de 2011.*

Faria, B. (2010). *Monitorização Geofísica e Níveis de Alerta do Vulcão do Fogo*. Tese de doutoramento. IST, Universidade Técnica de Lisboa, 265 p.

Faria, X. (1970). Os Solos da Ilha de Santiago. *Estudos, Ensaios, Documentação, Junta de Investigações do Ultramar*. Lisboa, 157 p.

Feijó, J. (1783). "Itinerario filosófico que contem a rellação das ilhas de Cabo Verde disposto pelo methodo epistolar" dirigidas ao III^o e Exm^o Senhor Martinho de Mello e Castro pello Naturalista Regio das mesmas ilhas Joao da Sylva Feijó .1783". [26] f.[51],7p.

Fernandes, M. (1995). *Mecânica dos Solos*. Vol. I, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ferreira, D. (1987). La crise climatique actuelle dans L'Archipel du Cap Vert. Quelques aspects du problème dans l'île de Santiago. *Finisterra*, XXII (43). Lisboa, pp. 113-152.

Ferrer, M., Seisdedos, J., García, J., González de Vallejo, L., Coello, J., Casillas, R., Martín, C. & Navarro, J. (2007) Volcanic mega-landslides in Tenerife (Canary Islands, Spain). ISRM International Workshop on Volcanic Rocks, Ponta Delgada, Azores pp. 185-191.

Ferrer, M. Seisedos, J. & Vallejo, L. (2010). The role of hyaloclastite rocks in stability of the volcanic flanks in Tenerife island. *Volcanics Rock Mechanics*. Ollala *et al.*(eds), CRC Press, pp 167-168.

Ferrer, M. & Vallejo, L. (2007). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. IGME. Madrid, 107 p.

Figueiredo, M. (2002). Singularidades mineralógicas de Cabo Verde com destaque para incrustações associadas à erupção do vulcão da ilha do Fogo em 1995. *Garcia de Orta, Série de Geologia*. Vol. 18, n.º 1 e 2 (2002), 35 p.

Filho, R. (2003). Os condicionantes geológico-geotécnicos em obras de usinas hidroeléctricas. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Pós-Graduação, pp. 18-21.

Referências Bibliográficas

Franco, G., Marques, E., Calijuri, M. & Gomes, R. (2010). Cartografia Geotécnica, Estágio actual do conhecimento. *Caminhos da Geografia*. Acessível em <http://www.ig.utu.br/revista/caminhos>, consultado em 15.09.2011.

Friedlaender, I. (1913). *Beiträge zur Kenntnis der Kapverdischen Inseln*. Berlin: Dietrich Reimer.

Geological Society of London (GSL) (1972). The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Qt. J1. *Engineering Geology*, Vol. 5, pp. 239-381.

Gerlach, D, Cliff, R., Davies, G., Norry, M. & Hodgson, N. (1988). Magma sources of the archipelago: Isotopic and trace element constraints. *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 52 (12) pp. 2979-2992.

Gomes, A. & Pina, A. (2003). Problemas de recursos hídricos em ilhas. Exemplo da ilha de Santiago. Caso da bacia hidrográfica da ribeira grande da Cidade velha. Caso da bacia hidrográfica da ribeira seca. *6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos PALOP*, Praia.

Gomes, A. (1980). *A Hidrogeologia de Santiago*. Vol. I, DEGAS. Praia.

Gomes, A. (2007). Hidrogeologia e recursos hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde). Tese de Doutoramento. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro, 296 p.

Gomes, A., Pina, A., Melo, M. & Silva, M. (2004). The importance of groundwater resources for the sustainable development of the Santiago island (Cape Verde). *Proceedings 32nd International Geological Congress*, Florença, Itália.

Gomes, L. (1992). *Zonamento geotécnico da área urbana e suburbana de Aveiro*. Tese de Doutoramento. U. Aveiro, 531 p.

Gominho, M. (2009). Gestão de Recursos Hídricos no processo de Desenvolvimento sustentável de Cabo Verde: a study case. Ilha de Santiago. *I Simpósio Nacional dos Recursos Hídricos*, Cabo Verde.

Gonçalves, A. (2009). *Execução de túneis nas formações vulcânicas da ilha da Madeira: o caso do túnel 1 da nova ligação Vasco Gil - Fundoa à cota 500*. Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira, 170 p.

Gonçalves, R., Gomes, A., Pina, A., Almeida, E. & Santos, F. (2006). Investigação hidrogeofísica na ilha de Santiago (Cabo Verde) usando sondagens transientes (TDEM). *Actas da 5ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, Sevilha, 4 p.

Goudie, A. (2000). The Human Impact on the Natural Environment. (5th edn.), and Jill Schneiderman (ed.): 2000. *The Earth Around Us Maintaining a Livable Planet*. Vol. 54, Numbers 1-2, pp. 247-248.

GPDRR/UN (2009). *Proceedings Creating Linkages for a Safer Tomorrow*. Global Platform for Disaster Risk Reduction, 2nd session, UNISDR, Geneve, 44 p.

Grainger, P. (1984). The Classification of mudrocks for engineering purposes. *Quarterly Journal Engineering Geology*. London, Vol. 17, pp. 381-387.

Grim, R. (1962). *Applied clay Mineralogy*. Mc Graw-hill, 422 p.

Hang, P. & Brindley, G. (1969). Methylene blue absorption by clay minerals. Determination of surface areas and cation exchange capacities 8 clay organic studies XVIII. *Clays and Clays Minerals*, Vol. 18, pp. 203-212.

Hausen, H. (1962). New contributions to the geology of Gran Canaria. *Social Science Fenn Comm Phys Math* 27: pp.1-418.

Heitor, A. & Pina, A. (2003). Águas subterrâneas em Cabo Verde, qualidade da água na ilha de Santiago. *6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos PALOP*, pp. 819-827. Praia.

Heleno, S. (2003). *O Vulcão do Fogo. Estudo Sismológico*. Colecção: Teses. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, Lisboa, 463 p.

- Helfrich, G., Faria, B., Fonseca, J., Lodge, A. & Kaneshima, S. (2010). Transition zone structure under a stationary hot spot: Cape Verde. *Earth and Planetary Science Letters*, 289, pp. 156-161.
- Henriques, M. (2002). Estratigrafia. O tempo em Geologia. DCT-FCT. Universidade de Coimbra. Acessível em <https://woc.uc.pt/dct/>, consultado em 18/08/2011.
- Henriques, S. (2004). *Petrologia e geoquímica das lavas recentes da ilha de Santo Antão*. Tese de Mestrado. Departamento de Geologia. FCUL.
- Hernández, R. (2008). *Caracterização dos solos da ilha de Santiago (Cabo Verde) numa perspectiva de sustentabilidade ambiental*. Tese de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 344 p.
- Hoernle, K., Tilton, G., Le Bas, M., Duggen, S. & Garbe-Schönberg, D. (2002). Geochemistry of oceanic carbonatites compared with continental carbonatites: mantle recycling of oceanic crustal carbonate. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, (142), pp. 520-542.
- Holm, P., Grandvuinet, T., Friis, J., Wilson, J., Barker, A., & Plesner, S. (2008). An ^{40}Ar - ^{39}Ar study of the Cape Verde hot spot: Temporal evolution in a semistationary plate environment. *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, 113 (B8).
- Holm, P., Wilson, J., Christensen, B., Hansen, L., Hansen, S., Hein, K., Mortensen, A., Pedersen, R., Plesner, S. & Runge, M. (2006). Sampling the Cape Verde mantle plume: evolution of melt compositions on Santo Antão, Cape Verde islands. *Journal of Petrology*, Vol. 47 (1): 145-189.
- Hutchinson, J. (1977). Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement. *Bulletin of the International association of Engineering geology*, 16, pp. 131-155.
- IAEG (1979). Classification of the rocks and soils for engineering geological mapping. Part I- Rock and Soil Materials. *Bulletin of IAEG*, nº19, pp. 364-371.
- IAEG (1976). Engineering geological mapping. A guide to their preparation. Commission on Engineering Geological Maps of the IAEG. Earth Sciences, *Bulletin of IAEG*, nº15. The Unesco Press.
- IAEG (1981a). Recommended symbols for engineering mapping. *Bulletin of the IAEG*, nº24, pp. 227-234.
- IAEG (1981b). Rock and soils description and classification for engineering geological mapping. Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. *Bulletin of the IAEG*, nº24, pp. 235-274.
- IGME (2009). Informe de laboratório nº 09/0514. Instituto Geológico Y Minero de España. Madrid.
- IGME (2011). Informe de laboratório nº 11/0299. Instituto Geológico Y Minero de España. Madrid.
- INE (2010). Recenseamento geral da população e habitação. CENSO 2010. Praia.
- INGRH & Cooperacion Española (1994). *Síntesis geo-hidrologica de Cabo Verde*. Praia, pp.1-51.
- INGRH (2004). Relatório final de sondagem em Achada Grande, não publicado. Instituto Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, Praia.
- INMG (2010). Dados de Climatologia da ilha de Santiago, Cabo Verde.
- ISRM (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of the Rock Mechanics & Mineralogy Science and Geomechanics* Abstr, Vol. 15, 319-368.
- ISRM (1979). Suggested methods for determining uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *International Journal of the Rock Mechanics & Mineralogy Science and Geomechanics* Abstr. Vol. 16, pp. 137-140.

Referências Bibliográficas

- ISRM (1981). Rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested Methods. Ed. E.T. Brown, Pergamon Press, 211 p.
- ISRM (1985). Suggested method for determining Point Load strength. *International Journal of the Rock Mechanics Mineralogy Science and Geomechanics Abstr.* Vol. 22, pp.51-60.
- IYPE – Ano Internacional do Planeta Terra 2007-2009 (2005). *Megacidades. O nosso futuro global. Ciências da Terra para a Sociedade*. Eds. Geological Society of London and Netherlands Institute of Applied Geoscience.
- Johnson, M., Gudveig, B., Cachão, M., Silva, C., Ledesma-Vázquez, J., Mayoral, E., Ramalho, R. & Santos, A. (2012). Rhodoliths, uniformitarianism, and Darwin: Pleistocene and Recent carbonate deposits in the Cape Verde and Canary archipelagos. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 329-330: 83–100.
- Jones, G. (2004). *People and the environment*. A Global approach Pearson Education, 272 p.
- Jørgensen, J. & Holm, P. (2002). Temporal variation and carbonatite contamination in primitive ocean island volcanic from São Vicente. Cape Verde Islands. *Chemical Geology* (192), pp. 249–267.
- Kahraman, S. & Gunaydin, O. (2009). The effect of rock classes on relation between uniaxial compressive strength and Point Load index. *Bulletin of Engineering Geology Environment*, 68: pp. 345-353.
- Knudsen, M. & Abrahamsen, N. (2000). Magnetostratigraphy of young Pliocene Volcanics at Santo Antao, Cape Verde islands: the Escabecada and Cha de Morte profiles. *Physical Chemistry Earth*, 25: 461-467.
- Knudsen, M., Holm, P. & Abrahamsen, N. (2009). Paleomagnetic results from a reconnaissance study of Santiago (Cape Verde Islands): Identification of cryptochron C2r.2r-1. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 173: 279-289.
- Lambe, T. & Whitman, R. (1981). *Mecânica de Suelos*. Ed Limusa. México, 582 p.
- Lateef, A., Fernandez-Alonso, M., Tack, L. & Delvaux, D. (2010). Geological constraints on urban sustainability, Kinshasa City, Democratic Republic of Congo. *Environmental Geosciences*, Vol. 17, nº1, pp. 17-35.
- Le Bas, M. (1984). Nephelinites and carbonatites. In: Fitton JG, Upton BJG (eds). Alkaline igneous rocks. *Geology Society Special Publication* (30), 53-83.
- Le Bas, M. (1989). Nephelinitic and basanitic rocks. *Journal of Petrology*, 30:1299-1312.
- Le Bas, M., Maitre, R.W. & Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- Le Maitre (editor), R., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lamere, J., Sabine, P., Schmid, R., Sorensen, H. & Woolley, A. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, 2002. ISBN 0-521-66215-X.
- LEC (2000-2011). Relatórios de Estudos Geotécnicos de Terreno, não publicados. Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde, Praia.
- Lima, A. (2008). Possibilidades e limitações do método VLF em prospecção hidrogeológica em terrenos vulcânicos: caso de estudo no Palmarejo, Praia, Cabo Verde. Universidade do Minho. 1º *Simpósio Nacional de Recursos Hídricos de Cabo Verde*, Praia, Pub. CD-ROM.
- LNEC (1967a). Solos. Determinação do pH. Especificação do LNEC E-203.
- LNEC (1967b). Solos. Ensaio de Expansibilidade. Especificação do LNEC E-200.

- LNEC (1968). Classificação de solos para fins rodoviários. Especificação do LNEC E219.
- LNEC (1970). Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. Especificação do LNEC E-239.
- LNEC (1993). Materiais em pó. Determinação da superfície específica. Método de B.E.T. Especificação do LNEC E-412.
- Lomoschitz, A. Mangas, J. & Socorro, M. (2003). Geological characterization of lapilli in Gran Canaria Island, a raw material used as a gas granular filter. *Chemical Industry and Environment IV*, A. Macias-Machín & J. Umbría (Eds.), 2, pp. 21-32.
- Macedo, J., Serralheiro, A. & Silva, L. (1988). Notícia Explicativa da Carta Geológica da ilha de S. Nicolau (Cabo Verde) na escala de 1:50.000. *Garcia de Orta, Série de Geologia*, Lisboa, 11 (1-2), 1-32.
- Macedo, M. (1980). *A Geologia aplicada ao Ordenamento do Território*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa, 198 p.
- Machado, F. (1967). Geologia das ilhas de Cabo Verde. *Agrupamento Científico de Geologia da Universidade de Lisboa e da Junta de Investigação do Ultramar*, Lisboa, 25 p.
- Madeira, J., Mata, J., Mourão, C., Brum da Silveira, A., Martins, S., Ramalho, R. & Hoffmann, D. (2010). Volcano-stratigraphic and structural evolution of Brava Island (Cape Verde) based on ⁴⁰Ar/³⁹Ar, U/Th and field constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 196: pp. 219-235.
- Madeira, J., Munhá, J., Tassinari, C., Mata, J., Brum, A., Martins, S. (2005). K/Ar ages of carbonatites from the island of Fogo (Cape Verde). *Actas do VIII Congresso Ibérico de Geoquímica e XIV Semana de Geoquímica* (Aveiro, Portugal): pp. 475-478.
- Mannaerts, C. & Gabriels, D. (2000). Rainfall Erosivity in Cape Verde. *Soil & Tillage Research*, 55, pp. 207-212.
- Marques, M. (1983). *Ensaio de Compartimentação da Paisagem nas Achadas Meridionais da Ilha de Santiago*. Lisboa, CEP do IICT em colaboração com o ICE, 21 p.
- Marques, M. (1987). Ensaio de cartas de declive médio para a ilha de Santiago (República de Cabo Verde). *Garcia de Orta, Série de Estudos Agronómicos*, Lisboa, Vol. 10, nº 1e 2, pp. 37-41.
- Marques, M. (1990). Caracterização das grandes unidades geomorfológicas da ilha de Santiago (República de Cabo Verde). Contribuição para o estudo da compartimentação da paisagem. *Gracia da Orta, Centro de Estudos de Pedologia (IICT)*, Lisboa.
- Martins, S. (2003). *Petrologia e geoquímica das lavas da ilha de Santiago* (Cabo Verde). Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Portugal, 233 p.
- Martins, S., Mata, J. & Munhá, J. (2003). Chemical evidence for complex and variable mantle residual paragenesis in the Santiago Island (Cape Verde). Universidade de Coimbra, *Memórias e Notícias* nº 2: pp. 19-37.
- Martins, S., Mata, J., Munhá J., Madeira, J. & Moreira, M. (2008). Evidências Geológicas e Geoquímicas para a existência de duas unidades estratigráficas distintas na Formação do Pico de Antónia (ilha de Santiago, Cabo Verde). *Memórias e Notícias*, nº 3 (Nova Série), Universidade de Coimbra, pp. 123-128.
- Martins, S., Mata, J., Munhá, J. & Mattielli, N. (2007). Elemental and isotopic constraints on the nature of mantle metasomatism at Santiago Island (Cape Verde). European Geosciences Meeting (Vienna, Austria). Geophysic Research Abstract 9:10296.
- Martins, S., Mata, J., Munhá, J., Mendes, M. H., Maerschalk, C., Caldeira, R. & Mattielli, N. (2010). Chemical and mineralogical evidence of the occurrence of mantle metasomatism by carbonate-rich melts in an oceanic environment (Santiago Island, Cape Verde). *Mineralogy and Petrology*, 93, pp. 43-65.

Referências Bibliográficas

- Mata, J., Moreira, M., Doucelance, R., Ader, M. & Silva, L. (2010). Noble gas and carbon isotopic signatures of Cape Verde oceanic carbonatites: Implications for carbon provenance. *Earth and Planetary Science Letters*, 291 (2010) 70-83.
- McPhie, J., Doyle, M. & Allen, R. (1993). *Volcanic Textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. University of Tasmania, 197 p.
- Mehra, R. (2009). Radiological risk assessment in soil samples of Western Haryana, India. World Academy of Science, *Engineering and Technology* (54): 1633-1637.
- Meisina, C. (2006). Engineering geological mapping for urban areas of the Oltrepo Pavese plain (Northern Italy). *IAEG 2006*, paper number 188.
- Melián, G., Calvo, D., Padilla, G., Fuentes, W., Cabral, J., Bandomo, Z., Gomes, A., Hernandez, P., Padrón, E., Brito, M., Melo, S., Barros, I. & Perez, N. (2007) - Observed Changes on Diffuse Carbon Dioxide Emission Rate from Fogo Volcano, Cape Verde. *Cities on Volcanoes 5*, Shimabara, Japan.
- Melo, M. (2010). *Caracterização e compartimentação geológica e geomecânica do maciço basáltico heterogêneo, aplicados à Engenharia*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil, 159 p.
- Melo, M., Silva, J., Pina, A., Gomes, A., Almeida, F. Moura, R. & Silva, M. (2008). Use of geochemical tools to study groundwater salinization in volcanic islands: a case study in the Porto Santo (Portugal) and Santiago (Cape Verde) islands. *Proceedings of 20th Salt Water Intrusion Meeting*, Florida.
- Mendes, M. (1995). *Petrologia e geoquímica dos xenólitos peridotíticos da ilha de Santiago, arquipélago de Cabo Verde*. Dissertação apresentada ao Instituto de Investigação Científica e Tropical para prestação de provas de acesso à categoria de Investigador auxiliar, 186 p.
- Mendes-Victor, L. (1970). *L'interpretation des mesures gravimétriques et magnétiques aux îles du Cap Vert et la théorie e l'expansion des fonds océaniques*. Tese de doutoramento, Universidade de Estrasburgo.
- Millet, M., Doucelance, R., Schiano, P., David, K. & Bosq, C. (2008). Mantle plume heterogeneity versus shallow-level interactions: A case study the São Nicolau Island. Cape Verde archipelago. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (176), pp. 265-276.
- Mitchell, J., Le Bas, M., Zielonka, J., Furnes, H. (1983). On dating the magnetism of Maio, Cape Verde Islands. *Earth and Planetary Science Letters*, 64, pp. 61-76.
- Mitchell-Thomé, R. (1976). *Geology of the Middle Atlantic Islands*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde. Band 12, 382 p.
- Montelli, R., Nolet, G., Dahlen, F. & Masters, G. (2006). A catalogue of deep mantle plumes: new results from finite-frequency tomography. *Geochemistry Geophysics Geosystems* (7), 69 p.
- Moon, V. & Jayawardane, J. (2004). Geomechanical and Geochemical changes during early stages of weathering of Karamu Basalt, New Zealand. *Engineering Geology* 74, pp. 57-72.
- Morgan, W.J. (1971). Convection Plumes in the lower mantle. *Nature*, 230, pp. 42-43.
- Mourão, C., Mata, J., Doucelance, J., Madeira, J., Silveira, A., Silva, L., & Moreira, M., (2010a). Quaternary extrusive calciocarbonatite volcanism on Brava Island (Cape Verde). *Journal of African Earth Sciences*, 56 (2-3), 59-74.
- Mourão, C., Mata, J., Silva, L. C., Doucelance, R., Madeira, J., Silveira, B. & Moreira, M. (2010b). Geochemistry and Petrogenesis of extrusive calciocarbonatites from Brava Island (Cape Verde). X Congresso de Geoquímica dos PALOP. XVI Semana de Geoquímica. *Memórias, FCUP*, nº 14, 81p.
- Mulder, F. (1992). Urban Geology: Present Trends and Problems Planning the Use of the Earth's Surface. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 1992, Vol. 42, pp. 125-140.

Mullen, E. (1983). $MnO/TiO_2/P_2O_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 62, pp. 53-62.

Neiva, J. (1940). Considerações sobre o quimismo das formações eruptivas do arquipélago de Cabo Verde. *Publicações do Museu e Laboratório de Mineralogia e Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto*, 17, 54 p.

Neves, L., & Pereira, A. (2004). Radioactividade Natural e Ordenamento do Território: o contributo das Ciências da Terra. *Geonovas*, Associação portuguesa de geólogos Nº 18, pp. 103-114.

Neves, L., Pereira, A., Godinho, M. & Dias, J., (1996). A radioactividade das rochas como um factor de risco ambiental no território nacional português: uma síntese. V *Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, Vol. 1, 1996.

NP-143 (1969). Solos. Determinação dos limites de consistência. Norma Portuguesa.

NP-83 (1965). Solos. Determinação da densidade das partículas. Norma Portuguesa.

NP-84 (1965). Solos. Determinação do teor em água. Norma Portuguesa.

Nunes, J. (2002). Novos conceitos em Vulcanologia: erupções, produtos e paisagens vulcânicas. Associação Portuguesa de Geólogos. *Geonovas*, nº 16, pp. 5-22.

Nunes, M., Costa, F. & Sousa, A. (2009). Modelação espacial da precipitação da fachada oriental da Ilha de Santiago. *Actas do 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, 15º Congr. APDR, 2º Congr. Lusófono de Ciência Regional e 3º Congresso de Gestão e Conservação da Natureza*, Praia, Cabo Verde, pp. 1647-1658.

O'Reilly, S., Zhang, M. & Griffin, W. (2009). Ultradeep continental roots and their stranded oceanic remnants: a solution to the geochemical "crustal reservoir" problem? *Geochemica and Cosmochimica Acta* 73 (3): A960-966.

Oliveira, F., Rocha, T., Marinho, J., Souza, A. & Porto, F. (2009). Análise integrada do sector oriental da ilha de Santiago em Cabo Verde (África). *Actas Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, UFV, Viçosa, Brasil, 10 p.

Orton, G. (1996). Volcanic environments in Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. Ed. Reading, H., *Blackwell Publishing Ltd*, Oxford, UK, pp. 485-567.

Pereira, A., Azevedo, J., Victória, S., Cunha, P., Pereira, L., Vicente, A. & Neves, L. (2008). Structural interpretation of Santiago Island (Cape Verde) based on remote sensing techniques. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 10, EGU General Assembly 2008, A-05720.

Pereira, A., Victória, S., Vicente, A. & Neves, L. (2007). Structural Lineaments in A Volcanic Island Evaluated Through Remote Sensing Techniques: The Case of Santiago Island (Cape Verde). *Proceedings IGARSS 2007*, Barcelona, Spain, pp. 1632-1635.

Pereira, A., Neves, L., Godinho, M. & Dias, J. (1999). O gás radão em solos da região Central de Portugal: um factor a considerar para o Ordenamento do Território. *Actas de VI Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, pp. 763-772.

Pereira, A., Dias, J., Neves, L. & Godinho, M. (2001). O gás radão em águas minerais naturais: avaliação do risco de radiação no balneário das Caldas de Felgueira (Portugal Central). *Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório de Mineralogia e Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, Nº 1 (Nova Série), Coimbra, pp 73-89.

Pereira, A., Dias, J., Neves, L. & Nero, J. (2004). *Modelling of the long term efficiency of a rehabilitation plan for a uranium mill tailing deposit (Urgeiriça, Central Portugal)*. EXMIN.

Pereira, A., Neves, L. & Pinto, P. (2010). Concentrações do gás radão em estabelecimentos de Ensino da Região Centro – um risco natural a considerar na requalificação dos edifícios escolares. *Radioprotecção*, Vol. II, 16/17, 99-105.

Referências Bibliográficas

- Pereira, A., Neves, L., Godinho, M. & Dias, J. (2003). Natural Radioactivity in Portugal: influencing Geological factors and implications for Land use Planning. *Radioprotecção*, 2, pp. 2-3.
- Pereira, J. (2005). *O Património Geológico da ilha de Santiago (Cabo Verde): Inventariação Caracterização e Propostas de Valorização*. Tese de Mestrado. Universidade do Minho, 92 p.
- Pereira, J. (2010). *Concepção de uma estratégia de Geoconservação para Cabo Verde e sua aplicação à ilha de Santiago*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho, 383 p.
- Pina, A. (2009). *Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago. Cabo Verde*. Tese de doutoramento, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 231 p.
- Pina, A., Gomes, A., Melo, M. & Silva, M. (2004). The impact of salt water intrusion on groundwater quality and on the social and economical development of the Santiago island (Cape Verde). *Proceedings do 18th Salt Water Intrusion Meeting*. Cartagena (Espanha).
- Pina, A., Gomes, A., Melo, M. & Silva, M. (2006). Estudo hidrogeoquímico da ilha de Santiago (Cabo Verde). *Proceedings do 8.º Congresso da Água*, Figueira da Foz (Portugal), 18-22 Março. Cd-Rom.
- Pina, A., Gomes, M., Melo, M. & Silva, M. (2005). Caracterização hidrogeoquímica das principais unidades aquíferas da ilha de Santiago, Cabo Verde. *XIV Semana de Geoquímica & VIII Congresso de Geoquímica*. Aveiro, 11-16 Julho.
- Pinho, A. (2003). *Caracterização Geotécnica de Maciços Rochosos de Baixa Resistência*. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora, 272 p.
- Pinto, M. (2010). *Cartografia geoquímica da ilha de Santiago com uma densidade de amostragem média/baixa*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, 250 p.
- Pinto, P., Pereira, A. e Neves, L. (2011). O gás radão no contexto da legislação sobre a Qualidade do Ar Interior em edifícios, situação em Portugal. Livro de Homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho "Modelação de Sistemas Geológicos". *Laboratório de Radioactividade Natural da Universidade de Coimbra (Ed.)*, Coimbra, pp. 317-328.
- Pires, G. (2007). *Caracterização geológica e geotécnica dos solos de Luanda para o Ordenamento do Território*. Tese de Mestrado. FCUL, 176 p.
- Plesner, S., Holm, P. & Wilson, J. (2002). 40Ar-39Ar geochronology of Santo Antão, Cape Verde Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 120 (1-2), 103-121.
- Potro, R. & Hürlimann, M. (2009). Comparision of different indirect techniques to evaluate volcanic intact rock strength. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2009 (42), pp. 931-938.
- Prada, S. (2000). *Geologia e recursos hídricos da ilha da Madeira*. Tese de Doutoramento, Universidade da Madeira, 351 p.
- Rabaça, T. (2001). *Caracterização Geoambiental da região de Penamacor. Idanha por aplicação de técnicas de detecção remota*. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra, 226 p.
- Ramalho, R., Quartau, R., Trenhaile, A., Helfrich, G., Madeira, J., Victória, S. & Schmidt, D. (2011). Why have the old Cape Verde Islands remained above sea-level? Insights from field data and wave erosion modeling journal of the geological society. *American Geophysical Union*, 2011.
- Ramalho, R., Helffrich, G., Cosca, M., Vance, D., Hoffmann, D. & Schmidt, D. (2010b). Episodic swell growth inferred from variable uplift of the Cape Verde hotspot islands. *Nature Geoscience*, Vol. 3, pp. 774-777.
- Ramalho, R., Helffrich, G., Schmidt, D. & Vance, D. (2010b). Tracers of uplift and subsidence in the Cape Verde Archipelago. *J. Geol. Soc. Lond.* 167, pp. 519-538.
- Ramalho, R. (2009). *Building the Cape Verde Islands. Dissertation of doctor in Philosophy. Departament of Earth Sciences*. University of Bristol, 251 p.

- Ribeiro, O. (1954). *A ilha do Fogo e as suas erupções*. Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, 319 p.
- Riga, A., Vieira, E. & Borges, M. (2011). Taiti - Diagnóstico geotécnico e ambiental. Interioridade/Insularidade, Despovoamento/Desertificação, Paisagens, Riscos Naturais e Educação Ambiental em Portugal e Cabo Verde. Centro de Estudos Ibéricos. *Colecção Iberográficas*, Vol. 17, pp. 207-222.
- Rocha, M. (1977). Alguns problemas relativos à Mecânica das Rochas dos materiais de baixa resistência. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *Memória* 491, 25 p.
- Rodrigues, J. (2007). *Determinação das propriedades dos solos. Identificação, classificação e avaliação das suas propriedades mecânicas e dinâmicas*. Relatório de Estágio. Departamento de Geotecnia. LNEC. Lisboa, 113 pp.
- Rona, P, Brakl, J. & Heirtzler, J. (1970). Magnetic Anomalies in the Northeast Atlantic between the Canary and Cape Verde Islands. *Journal of Geophysical Research*, 95: pp. 7412-7420.
- Rusnak, J. & Mark, C. (1999). Using the Point Load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock. *Procedures of 19th International Conference on Ground Control in Mining*, pp. 362-371.
- Russel, D. (1982). Controles on shale durability. The response of two Ordovician shales in the slake durability test. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol., 19, pp. 1-13.
- Saito T. (1981). Variation of Physical proprieties of igneous rocks in weathering. *Procedures of International Symposium of Weak Rock*. Tóquio, pp.191-196.
- Santos, E. (2006). *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais*. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil. Universidade de São Paulo, Brasil, 109 p.
- Santos, F., Almeida, E., Gomes, A. & Pina, A. (2006). Hydrogeological investigation in Santiago Island (Cabo Verde) using magnetotellurics and VLF methods. *Journal of African Earth Sciences*, 45 (2006), pp. 421-430.
- Sasaki, T., Kinoshita, S. & Ishijima, Y. (1981). A study on water sensibility of argillaceous rock. Proc. Int. *Symposium on Weak Rock*, Tóquio, pp. 149-154.
- Schmidt, R. & Schmincke, H. (2000). Seamounts and island building, in *Encyclopedia of Volcanoes*, eds. Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., & Stix, J., Academic Press, USA, pp. 383-402.
- Schmincke, H. (2004). *Volcanism*. Springer Verlag, Berlin Heilderberg, Germany, 1st edn, 324 p.
- Serralheiro, A. (1966). Contribuição para o conhecimento geológico da ilha de São Vicente (Cabo Verde). *Garcia da Horta*, vol. 14, nº 1, pp.139-152.
- Serralheiro, A. (1971). A Achadinha da Praia. Um caso típico de inversão de relevo. *Garcia de Orta*, Vol. 19, nº 1-4, pp. 279-288.
- Serralheiro, A. (1976). A Geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde). *Boletim do Museu do Labortaóri Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, 14 (2). Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 218 p.
- Serralheiro, A., Macedo, J., Silva, L., Sousa, A., Morais, M. & Cramez, D. (1973). Carta geológica da Ilha de Santiago (Cabo Verde) na escala 1:25 000 (folhas 48 a 59). *Junta de Investigações Científicas do Ultramar, Laboratório de Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar*, Lisboa.
- Silva, A., Gramaxo, F., Baldaia, L., Santos, M., Mesquita, A. & Félix, J., (2008). *Terra, Universo de Vida*. Porto Editora.
- Silva, A. (2003). *Cartografia Geotécnica do Concelho de Almada e o Sistema de Informação Geo-Almada*. Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 343 p.

Referências Bibliográficas

- Silva, L., Le Bas, M., & Robertson, A., (1981). An oceanic carbonatite volcano on Santiago, Cape Verde Islands. *Nature*, 294 (5842), pp. 644 -645.
- Silva, L. & Ubaldo, M. (1985). Considerações geológicas e petrogenéticas sobre os tufos carboníticos globulares da estrutura alcalina-carbonatítica do Norte de Santiago, arquipélago de Cabo Verde. *Garcia da Orta, Serviços Geológicos*, Lisboa, 8 (1-2), pp. 1-6, Lisboa.
- Silva, L. (1976). Alkaline-calcic metasomatic undersaturated rocks associated with alkaline-carbonatic complexes of Santiago (Cape Verde Islands). *Garcia da Orta, Serviços Geológicos*, Vol. 1, nº 4, Lisboa, pp. 133-142.
- Silveira, A., Madeira, J., Serralheiro, A., Torres, P., Silva, I. & Mendes, M. (1997). O controlo estrutural da erupção de Abril de 1995 na ilha do Fogo. Actas do 1º Simpósio Internacional "A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde", edição do *Instituto de Investigação Científica Tropical e Ministério da Ciência e Tecnologia*: pp 51-61.
- Singh, V. & Singh, D. (1993). Correlation between Point Load test and compressive strength for quartzite rocks. *Geotechnical and Geological Engineering*, 11, pp. 269-272.
- Soares, J. (1950). Breve história geológica do arquipélago de Cabo Verde. Conferência Internacional dos Africanistas Ocidentais. 2ª Conferência. Bissau, 1947, Vol. I: 79-84. *Ministério das Colónias, Junta de Investigações Coloniais*, Geologia.
- SoilTest (1978). Corps of Engineers- Cone Penetrometer. Model CN-973. Operating Instructions *Soil Test Instructions*, 2205.
- Stillman, C., Furnes, H., Le Bas, M., Robertson, A. & Zielonka, J. (1982). The geological history of Maio, Cape Verde Islands. *Journal of the Geological Society*, Vol. 139, nº3, pp. 347-361. Londres.
- Tavares, A.M.O.S. (1990). *Caracterização geotécnica da zona Sudeste da Cidade de Coimbra. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica*. Universidade de Coimbra, 141 p.
- Tavares, A. (1999). *Condicionantes físicas ao Planeamento. Análise da susceptibilidade no espaço do Concelho de Coimbra*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra, 346 p.
- Tavares, A. & Soares, A. (2010). Componentes ambientais e acção antrópica. "O caso do espaço de Coimbra", in *Ed. Neiva, Ribeiro, Victor, Noronha & Ramalho (org.), Ciências Geológicas. Ensino e Investigação em História*. Lisboa, Vol. II, Geologia Aplicada: APG e SGP, pp. 259-268.
- Tavares, A. (2008). A Gestão Territorial dos Riscos Naturais e Tecnológicos e o Ordenamento do Território. A perspectiva a partir do Plano Regional de Ordenamento do Território, Centro. *Revista CEDOUA*, nº 22 (2), CEDOUA/FDUC, Coimbra, pp. 59-73.
- Taylor, S. & McLennan, S. (1985). The continental crust: its composition and evolution. *Blackwell Scientific Publications*, Oxford, 312 p.
- Torres, P., Silva, L., Serralheiro, A., Mendes, M., Macedo, J., & Gomes, A. (2002a). Geologia da Ilha do Sal. *Comunicações do Instituto de Investigação Científica Tropical*.
- Torres, P., Silva, L., Serralheiro, A., Tassinari, C. & Munhá, J. (2002b). Enquadramento geocronológico pelo método K/Ar das principais sequências vulcano-estratigráficas da ilha do Sal. Cabo Verde. *Garcia de Orta, Serviços Geológicos*, Lisboa, 18 (1-2), pp. 9-13.
- Toy, T. & Hadley, R. (1987). *Geomorphology and reclamation of disturbed lands*. Ed. Academic Press Inc. Orlando, 380 p.
- Tran Ngoc Lan (1980). L'éssai ou blue de methylene un progrès dans la mesure et le controle de la propreté des granulats. *Bulletin Liaison Laboratoire Petrologie et Chemie*, 88, pp. 130-135.
- Teixeira, C. (1950) – Notas sobre a geologia das ilhas Atlânticas. *Anuais da Faculdade de Ciências do Porto*, 33 (3-4): pp. 193-233.

- Trindade, M. (2003). *Petrologia e geoquímica das lavas recentes da ilha de São Vicente*. Tese de Mestrado. Departamento de Geologia. FCUL, 230 p.
- Ulbrich, H., Vlach, S. & Janasi, V. (2001). O Mapeamento faciológico em rochas ígneas plutónicas. *Revista Brasileira de Geociências* 31 (2): pp.163-172.
- UNESCO/IAEG (1976). Engineering geological maps. A guide to their preparation. The Unesco Press, Paris, *Earth Sciences*, nº 15, pp 403-426.
- UNSCEAR (2000). Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations. New York.
- Vallejo, L. (1977). Engineering geology for urban planning and development with an example from Tenerife (Canary Islands). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 15, Number 1, pp. 37-43.
- Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid. 744 p.
- Vallejo, L., Hijaz, T., Ferrer, M. & Seisdedos, J. (2006). *Caracterización geomecánica de los materiales volcánicos de Tenerife*. IGME, Madrid. Madrid. 147 p.
- Vallejo, L., Hijazo, T. & Ferrer, M. (2008). Engineering Geological Properties of the Volcanic Rocks and Soils of the Canary Islands. *Soils and Rocks*, São Paulo, 31(1): 3-13, Brasil.
- Venâncio, P. (2007). *Aplicação de dados de detecção remota à cartografia geológica da região de Viseu*. Estágio científico de licenciatura em Geologia. Universidade de Coimbra, 165 p.
- Vicente, A., Victória, S., Costa, N., Pereira, A. & Neves, L. (2008). A detecção remota como suporte à cartografia geológica: casos de aplicação às ilhas de Santiago (Cabo Verde) e de Timor-Leste. *Memórias e Notícias*, 3 (Nova Série), pp. 257-262.
- Victória, S., Pereira, A. & Neves, L. (2010). Structural Lineaments Inferred from Remote Sensing: An Application to Geological Mapping and Landslide Susceptibility Evaluation in the Island of Santiago (Cape Verde). *Cities on Volcanoes, Tenerife, Abstracts Vol*, pp 43-44.
- Victória, S. (2006). *Condicionantes Geológicas ao Ordenamento do Território: uma aplicação na região da Praia (Santiago, Cabo Verde)*. Tese de Mestrado, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, 192 p.
- Viles, H., Goudie, A., Grab, S. & Lalley, S. (2010). The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 36, pp. 320-333.
- Watkins, N., Richardson, A. & Mason, R. (1968). Palaeomagnetism of the Macaronesian Insular Region: The Cape Verde Islands. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 16, Issue 2, pp. 119-140.
- Williams, C., Hill, I., Young, R. & White, R. (1990). Fracture zones across the Cape Verde Rise, NE Atlantic. *Journal of Geological Society of London*, 147: pp. 851-857.
- Yilmaz, I., Sendir, H. (2002). Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey). *Engineering Geology*, 66, pp. 211-219.
- Zacoeb, A. & Ishibashi, K. (2009). Point Load Test application for estimative compressive strength of concrete structures from small core. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol, 4 (7).
- Zazo, C., Goy, J., Dabrio, C., Soler, V., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Gonzalez-Delgado, J., Bardají, T., & Cabero, A. (2007). Quaternary marine terraces on Sal Island (Cape Verde archipelago). *Quaternary Science Reviews*, 26(7-8), pp. 876-893.